www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 27, 1965/66, No. 11

De COBRA, een kleine digitale rekenmachine voor numerieke besturing van gereedschapswerktuigen

R. Ch. van Ommering en G. C. M. Schoenaker

621.9-523.8

Op tentoonstellingen van gereedschapswerktuigen valt de laatste jaren steeds meer het accent op automatische besturing. De allernieuwste ontwikkeling op dit gebied, die reeds bij meer dan één leverancier van besturingsapparaten wordt bespeurd en waarmee een aantal uiterst belangrijke voordelen wordt verkregen, is het toepassen van een kleine universele rekenmachine voor het besturingsproces. In het onderstaande artikel beschrijven de auteurs naast de algemene eigenschappen van dergelijke systemen ook het prototype van een rekenmachine die in Philips' Natuurkundig Laboratorium speciaal voor het besturen van een gereedschapswerktuig werd ontworpen, alsmede de eerste ervaringen daarmee opgedaan.

De numerieke besturing van gereedschapswerktuigen deed een tiental jaren geleden langzaam zijn intrede in machinefabrieken en andere metaalverwerkende industrieën. Bij de ontwikkeling van deze vorm van automatisering deden zich vele problemen voor, allereerst wat betreft de betrouwbaarheid van de elektronische schakelingen. Daarnaast bleek al gauw dat de gereedschapswerktuigen in de destijds bestaande uitvoeringen niet bijzonder geschikt waren voor numerieke besturing; hetzelfde gold voor de mechanische systemen voor het verplaatsen van gereedschap en werkstuk en voor de systemen voor het meten van deze verplaatsingen. Ook ondervond men al spoedig dat de praktische bruikbaarheid van numerieke besturing voor een belangrijk deel afhankelijk was van de programmeringsmogelijkheden, d.w.z. van de wijze waarop de werkstukgegevens aan de besturingsautomaat konden worden toegevoerd.

In slechts weinige jaren zijn deze problemen grotendeels opgelost; op het ogenblik is de situatie zo dat de elektronische en de mechanische systemen geen fundamentele moeilijkheden meer bieden, terwijl voor the programmeren eveneens geschikte wegen zijn gevonden.

Met het oplossen van de oude problemen komen echter weer nieuwe naar voren — problemen die vooral door de toenemende vraag naar numerieke besturing worden bepaald. Ze betreffen de totale opzet van het besturingssysteem en de aanpassing daarvan aan de verschillende typen gereedschapswerktuigen, daaronder ook begrepen b.v. teken- en graveermachines. Vooral op deze problemen zullen wij in dit artikel verder ingaan, waarbij de wenselijkheid en de mogelijkheid naar voren zullen komen van een meer efficiënte en een meer universele opzet van numerieke besturing dan op dit moment gebruikelijk is.

Wij recapituleren eerst enkele algemene aspecten van numerieke besturing; een uitgebreide beschouwing van dit onderwerp is eerder in dit tijdschrift gegeven [1] [2].

Numerieke besturing

In het algemeen spreekt men van numerieke besturing als de gegevens voor het maken van het werkstuk in de vorm van getallen via een „commando-orgaan" aan het gereedschapswerktuig worden toegevoerd. Deze gegevens hebben niet alleen betrekking op de afmetingen van het werkstuk, maar ook op de toeren-

Ir. R. Ch. van Ommering, medewerker van het Centraal Ontwikkelingsbureau der N.V. Philips te Eindhoven; Ir. G. C. M. Schoenaker, medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven.

[1] T. J. Viersma, Enige beschouwingen over numerieke besturing van gereedschapswerktuigen, Philips techn. T. **24**, 165-174, 1962.

[2] J. A. Haringx, R. Ch. van Ommering, G. C. M. Schoenaker en T. J. Viersma, Een contourfreesbank met numerieke besturing, Philips techn. T. **24**, 289-323, 1962.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tallen en verspaningssnelheden van het gereedschapswerktuig en, indien gereedschap automatisch moet worden verwisseld, ook op deze verwisseling.

Het commando-orgaan interpreteert de gegevens en geeft signalen aan de te besturen onderdelen. Meestal, b.v. bij sledebewegingen, geeft het signaal een gewenste verplaatsing aan die dan wordt vergeleken met de werkelijke verplaatsing, waarna een regelsysteem ervoor zorgt dat het verschil tussen beide waarden kleiner wordt gehouden dan een vooraf vastgestelde waarde. In *fig. 1* is deze opzet in de vorm van een blokschema weergegeven.

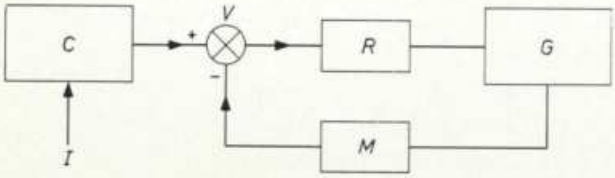

Fig. 1. Blokschema van de numerieke besturing van een gereedschapswerktuig *G* met behulp van een commando-orgaan *C*. De gegevens betreffende het werkstuk worden ingevoerd (*I*) in het commando-orgaan. Dit berekent hieruit welke handelingen moeten worden verricht, en geeft opdrachten aan het gereedschapswerktuig. Voor het uitvoeren van de noodzakelijke verplaatsingen (b.v. sledebewegingen) dient een regelsysteem *R* met een meetsysteem *M* en een vergelijkingsorgaan *V*.

De numerieke gegevens kunnen op verschillende wijzen aan het commando-orgaan worden toegevoerd. De eenvoudigste methode is de invoer met de hand, waarbij de getalwaarden worden ingesteld met behulp van schakelaars en knoppen die zich op het commando-orgaan bevinden. Deze methode wordt alleen toegepast wanneer de hoeveelheid informatie beperkt is, b.v. bij de besturing van zeer eenvoudige coördinatenboormachines. Zijn voor het werkstuk of de machine meer gegevens nodig, dan moet men ponsband of magneetband gebruiken. Een duidelijk voorbeeld hiervan is een contourfreesmachine, waarbij het invoeren van de gegevens met de hand ondenkbaar is.

Op de band wordt de contour door een reeks discrete punten beschreven. Zou men dit bij een ingewikkeld werkstuk met zeer veel punten doen, dan zou (bij gebruik van ponsband) een onhandelbaar lange band ontstaan. Om dit te vermijden, laat men het commando-orgaan een rekenbewerking uitvoeren, nl. het *interpoleren* tussen twee gegeven punten, en geeft men op de band slechts zoveel punten als nodig zijn om na interpolatie het gewenste werkstuk met de vereiste nauwkeurigheid te doen ontstaan.

Voor eenvoudige werkstukken, b.v. met uitsluitend een beperkt aantal rechte vlakken, heeft ponsband ten opzichte van magneetband het voordeel dat de band door een programmeur met de hand kan worden gemaakt (met een schrijfmachine met ponsbanduitvoer). Is het werkstuk ingewikkelder, dan vergt het bepalen van de punten die aan het commando-orgaan moeten worden toegevoerd, dikwijls zoveel rekenwerk dat de hulp van een rekenmachine nodig is. Met de rekenmachine kunnen de gegevens van het werkstuk even gemakkelijk op magneetband als op ponsband worden gezet, met dien verstande dat voor magneetband nog een kostbaar uitvoerorgaan nodig is, waar tegenover staat dat de besturing bij de gereedschapsmachine eenvoudiger is. Beide soorten band worden in de praktijk gebruikt. Ponsband heeft echter, behalve de genoemde mogelijkheid van vervaardigen met de hand, nog een aantal voordelen. Het is gemakkelijk te hanteren, te controleren en te dupliceren. Bovendien is ponsband in de meeste werkplaatsen al ingeburgerd.

Als de afmetingen van een werkstuk eenmaal op de juiste wijze op de band zijn vastgelegd, vergt het maken van het werkstuk op de machine een minimum aan tijd. Het verspaningsproces kan nl. worden afgewerkt zonder dat tussentijdse controle van de afmetingen en opnieuw opspannen van het werkstuk noodzakelijk is. Behalve de grote tijdsbesparing die hierdoor vooral bij ingewikkelde werkstukken wordt verkregen, hebben we ook nog het voordeel dat minder hulpgereedschap (mallen, kalibers, enz.) nodig is dan bij de conventionele fabricagemethodes.

Uit de genoemde eigenschappen van numerieke besturing volgt dat deze bewerkingsmethode vooral voordelen zal opleveren bij het maken van enkele stuks of kleine series van werkstukken waaraan hoge eisen worden gesteld.

De wenselijkheid van een universeel besturingssysteem

Als gevolg van de toenemende vraag naar numerieke besturing en de verscheidenheid van toepassingen, ontstaan vele verschillende besturingssystemen, die elk slechts geschikt zijn voor één bepaalde gereedschapsmachine of voor één bepaalde categorie daarvan.

Het maken van een gespecialiseerde machine levert op het eerste gezicht weinig bezwaren op, wanneer tenminste grote series van één type kunnen worden gemaakt. Zeker in Europa echter zijn de aantallen per categorie nog klein en het laat zich aanzien dat dit de eerste vijf jaar voor de meeste categorieën niet wezenlijk zal veranderen. Men is daarom gaan zoeken naar een universeel besturingssysteem, d.w.z. naar een systeem dat op eenvoudige wijze en in korte tijd aan vele verschillende gereedschapsmachines kan worden aangepast. Een dergelijk systeem kan in grote series worden gemaakt. Zelfs voor uitzonderlijke toepassingen kan daarmee snel een besturingssysteem worden geleverd, en het onderhoud en de levering van onderdelen kunnen vergemakkelijkt worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Er is nog een andere reden waarom een universeel besturingssysteem aantrekkelijk is. In de bestaande besturingssystemen zijn de rekenbewerkingen (b.v. het interpoleren) en de commando's („start", „stop", enz.) in de bedrading vastgelegd; men noemt dit „wired logic". Hierdoor is de bruikbaarheid van zo'n besturingssysteem niet alleen beperkt tot één type gereedschapsmachine, maar er kunnen ook alleen die rekenbewerkingen en commando's mee worden uitgevoerd die bij het ontwerpen van het systeem waren voorzien. Latere wijzigingen kunnen slechts moeilijk worden uitgevoerd. De mogelijkheid dat wijzigingen (b.v. nieuwe rekenbewerkingen) wenselijk zijn, is verre van denkbeeldig. De ontwikkeling van de numerieke besturing verloopt snel en de mogelijkheden die ontstaan, kunnen moeilijk tevoren worden overzien. Dit houdt in dat zelfs in de periode van 5 à 7 jaar waarover de machine wordt afgeschreven, wel eens de behoefte ontstaat aan wijzigingen in de machine. Een universeel systeem, waarbij dit op een gemakkelijke wijze kan worden volbracht, zal als voordeel hebben dat het steeds aan de laatste mogelijkheden en wensen kan worden aangepast, waardoor de combinatie gereedschapswerktuig-besturingssysteem wat betreft gebruikswaarde gelijk blijft aan de modernste apparaten die op de markt verschijnen. Een systeem dat niet kan worden aangepast zal van jaar tot jaar aan waarde verliezen.

Het toepassen van een digitale rekenmachine als besturingssysteem

Een kleine digitale rekenmachine, zoals die ook wordt toegepast bij het regelen van processen, leent zich goed voor gebruik als universeel besturingssysteem. Een dergelijke rekenmachine bestaat uit een rekenorgaan, een geheugen, een orgaan voor de interne besturing dat ervoor zorgt dat de rekenbewerkingen juist worden uitgevoerd, en een gedeelte voor de in- en uitvoer van informatie. De aanpassing van een rekenmachine aan het te besturen gereedschapswerktuig kan geschieden door zowel de gegevens die betrekking hebben op het gereedschapswerktuig (b.v. coördinatenstelsel en meetnauwkeurigheid) als de gegevens die nodig zijn voor de juiste interpretatie van de werkstukgegevens, met behulp van ponsband in het geheugen vast te leggen. Deze eenvoudige wijze van aanpassing neemt, wanneer men de ponsband eenmaal heeft, zeer weinig tijd in beslag en voldoet daarmee aan de eisen die wij eerder stelden voor een universeel besturingssysteem. Men duidt de methode waarbij de gegevens in een geheugen worden opgeslagen, aan met „stored logic".

Het gebruik van een rekenmachine als besturingsautomaat ligt eigenlijk voor de hand, omdat alle handelingen die een besturingsautomaat moet verrichten, teruggevoerd worden tot eenvoudige rekenbewerkingen; dit gebeurt ook in de besturingsautomaten met „wired logic". De bewerkingen die het ontwerp van een werkstuk ondergaat tussen de tekenkamer en het gereedschapswerktuig zijn eveneens vrijwel uitsluitend rekenbewerkingen die vaak met een grote rekenmachine worden uitgevoerd. De scheidingslijn tussen de rekenbewerkingen die door de besturingsautomaat en de bewerkingen die door de grote rekenmachine worden uitgevoerd, kan op verschillende plaatsen liggen.

We hebben gesteld dat een besturingsrekenmachine wordt aangepast aan een gereedschapswerktuig door een lijst van rekenbewerkingen in het geheugen op te bergen. Hieruit volgt dat de grootte van het geheugen een grens stelt aan het aanpassingsvermogen. Voor het besturen van een contourfreesmachine is b.v. een groter aantal rekenbewerkingen en dus een groter geheugen nodig dan voor het besturen van een coördinatenboormachine. We kunnen het geheugen echter zonder bezwaar zo uitvoeren dat het gemakkelijk uit te breiden is, b.v. met eenheden van gelijke grootte. Het besturingssysteem wordt hiermee niet minder flexibel, terwijl steeds een efficiënt gebruik van de geheugencapaciteit wordt verkregen.

Een belangrijk voordeel van het toepassen van een echte rekenmachine is ook dat de elektronische onderdelen efficiënt gebruikt kunnen worden. Er kunnen nl. na elkaar met dezelfde onderdelen een groot aantal verschillende berekeningen worden uitgevoerd, dank zij de enorme rekensnelheid die met deze onderdelen mogelijk is. Een systeem met stored logic zal hierdoor in het algemeen minder onderdelen bevatten dan een overeenkomstig systeem met wired logic.

Het gebruik van een rekenmachine heeft ten slotte tot voordeel dat direct kan worden geprofiteerd van het vele speurwerk en de snelle ontwikkelingen die op dit gebied plaatsvinden.

De COBRA

In het voorgaande is gesteld dat een kleine digitale rekenmachine geschikt is om gebruikt te worden als universeel besturingssysteem. Om de juistheid van deze stelling te onderzoeken, is in Philips' Natuurkundig Laboratorium een proefmodel gebouwd, in de wandeling „COBRA" genaamd, dat zo is gedimensioneerd dat het geschikt is voor tweedimensionele besturingen.

We zullen hier de verschillende onderdelen van de COBRA (*fig. 2*) in het kort bespreken [3]. Daarna volgt een behandeling van de verschillende rekenbewerkin-

[3] Voor de termen en begrippen uit de digitale rekentechnieken die hier worden gebruikt zie b.v. W. Nijenhuis, De „PASCAL", een zeer snelle digitale elektronische rekenmachine voor Philips' Rekencentrum, Philips techn. T. **23**, 1-19, 1961.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gen die de COBRA kan uitvoeren, en vervolgens wordt aandacht besteed aan het programmeren, dat is het maken van de ponsband uitgaande van de werkstukgegevens en de bewerkingsmethode.

Het rekenorgaan bevat twee registers en een opteller.

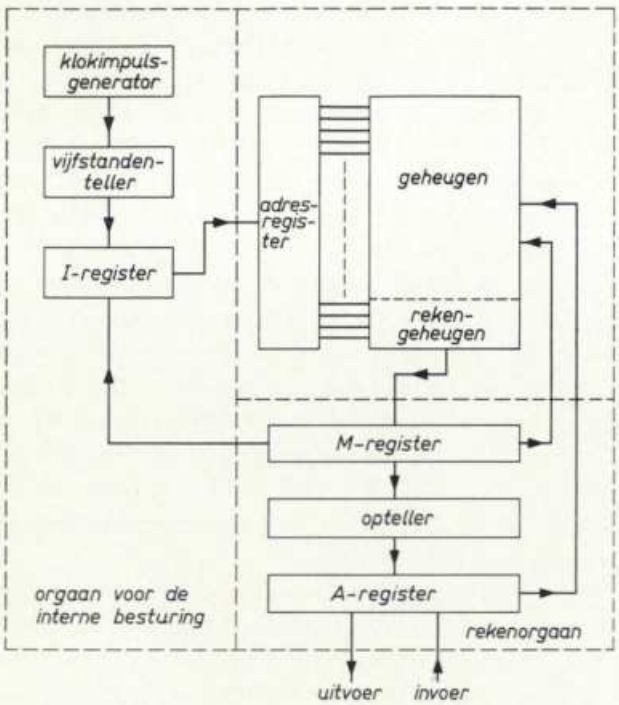

Fig. 2. Schema van een kleine elektronische rekenmachine. De functies van de drie hoofdonderdelen: het rekenorgaan, het geheugen en het orgaan voor de interne besturing, worden in de tekst nader aangeduid.

Van de twee registers vormt het *M*-register de verbinding met het geheugen; het *A*-register dient om tijdens een optelling één van de twee getallen die hierbij zijn betrokken, te herbergen. Na de berekening wordt dit getal vervangen door de som van de twee getallen. De optelling wordt uitgevoerd door een parallel-optelschakeling van 24 bits.

Voor het bewaren van gegevens wordt een magneetringgeheugen gebruikt dat werkt volgens het coïncidentieprincipe. Het bezit 1024 adressen, elk met een woordlengte van 24 bits. Dit laatste betekent dat decimale getallen bewaard kunnen worden van ongeveer acht cijfers ($2^{24} = 16\,777\,216$). Een deel van het geheugen, 64 adressen, wordt gebruikt als „rekengeheugen": door het toepassen van een speciale bedrading kan hierin het tegengestelde van een getal worden berekend ($A \rightarrow 2^{24} - A$) en een getal kan worden vermenigvuldigd met een macht van 2 ($A \rightarrow A \times 2^k$, k geheel). In dit artikel zal hierop niet verder worden ingegaan [4].

De gegevens die in het geheugen worden bewaard, bestaan uit getallen die betrekking hebben op sleedposities, resultaten van berekeningen, enz., en uit opdrachten, die de handelingen aangeven die de rekenmachine moet verrichten. Een opdracht bestaat uit drie delen (*fig. 3*). Het eerste deel, het codedeel, geeft een bepaalde bewerking aan, zoals optellen, vermenigvuldigen met 4, enz. Het tweede gedeelte bepaalt de plaats in het geheugen waar het getal te vinden is waar de bewerking op moet worden uitgevoerd, het werkadres. Ten slotte noemt het derde deel de plaats in het geheugen waar de volgende opdracht te vinden is. Deze plaats heet het opdrachtadres.

Van de 24 bits die voor een opdracht beschikbaar zijn, worden er voor het aangeven van het volgende opdrachtadres 10 gebruikt. Hiermee kunnen 1024 geheugenplaatsen rechtstreeks worden geadresseerd.

code	werkadres	opdrachtadres
6 bits	8 bits	10 bits

Fig. 3. Een opdracht bestaat uit een codedeel van 6 bits voor het aangeven van de gewenste bewerking (b.v. „tel op"), een werkadres van 8 bits dat de plaats in het geheugen aangeeft waar het te bewerken getal zich bevindt, en een opdrachtadres van 10 bits dat verwijst naar de volgende opdracht.

Voor het aangeven van het werkadres worden slechts 8 bits gebruikt. Hiermee kunnen de eerste 256 adressen worden aangegeven, wat op het eerste gezicht niet genoeg lijkt te zijn. Uit de analyse van een normaal besturingsprogramma blijkt echter dat het grootste gedeelte van het geheugen wordt ingenomen door opdrachten en slechts een vrij klein gedeelte door getallen. Zorgen we dat deze getallen in het begin van het geheugen worden geplaatst, dan hebben we niet meer dan 8 bits nodig.

Voor het codedeel zijn ten slotte nog 6 bits over.

Uit het gebruiken van 10 bits voor het opdrachtadres en 8 bits voor het werkadres blijkt dat het geheugen niet zonder verdere maatregelen kan worden uitgebreid. Is een uitbreiding, b.v. een verdubbeling, nodig, dan kan met een afzonderlijke opdracht vooraf worden aangegeven in welk van de twee delen van het geheugen de bedoelde getallen en opdrachten kunnen worden gevonden. Om een efficiënt gebruik van de tijd te krijgen, ligt het voor de hand de gegevens voor op elkaar volgende rekenbewerkingen zoveel mogelijk in hetzelfde deel van het geheugen te plaatsen.

Het orgaan voor de interne besturing zorgt dat de opdrachten worden uitgevoerd. Het bestaat in principe uit een klokimpulsgenerator, een vijfstandenteller en een register, het *I*-register, waarin de uit te voeren opdracht tijdelijk wordt bewaard. De impulsgenerator levert impulsen met een frequentie van maximaal ongeveer 300 000 Hz. (De frequentie is variabel om redenen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

die later zullen worden behandeld.) De impulsen worden toegevoerd aan de vijfstandenteller die een tijdsindeling in vijf intervallen 1 t/m 5 geeft; in elk vijftal opeenvolgende tijdintervallen wordt een opdracht in vijf fazen uitgevoerd. Met een voorbeeld, nl. het optellen van een bepaald getal uit het geheugen bij een getal dat zich reeds in het *A*-register bevindt, zal duidelijk worden gemaakt wat in elke van de vijf fazen gebeurt.

We gaan uit van de situatie dat een vorige opdracht nog aanwezig is in het *I*-register. Het opdrachtadres hiervan verwijst naar de plaats in het geheugen waar de optelopdracht wordt bewaard die wij als voorbeeld bekijken. In het eerste tijdinterval (de eerste faze) wordt de nieuwe opdracht uit het geheugen in het *M*-register van het rekenorgaan geplaatst. In de tweede faze wordt deze opdracht naar het *I*-register overgebracht en tegelijkertijd ook weer teruggebracht naar de oorspronkelijke plaats in het geheugen. In de volgende faze wordt het getal dat is aangegeven in het werkadres van de opdracht, die zich nu in het *I*-register bevindt, uit het geheugen in het *M*-register geplaatst. In de vierde faze wordt dit getal opgeteld bij het getal in het *A*-register. In de vijfde faze wordt ten slotte het rekenresultaat in het geheugen opgeborgen, op de plaats waar het eerste getal vandaan kwam. De eerste twee fazen zijn voor elke opdracht, gelijk. De drie overige zijn afhankelijk van de opdracht die wordt uitgevoerd.

Bij de maximale frequentie van de impulsgenerator kunnen ongeveer 60 000 opdrachten per seconde worden uitgevoerd. Deze snelheid is noodzakelijk omdat verschillende eenvoudige berekeningen, die elk uit een aantal opdrachten bestaan, voor een goed functioneren van de besturing ongeveer 1000 maal per seconde moeten worden uitgevoerd.

Naast de eenvoudige berekeningen is er ook nog een aantal meer ingewikkelde, die slechts 1 à 2 maal per seconde behoeven te worden uitgevoerd. Het is noodzakelijk deze ingewikkelde berekeningen, die een groot aantal opeenvolgende opdrachten vergen, onderweg enige malen te onderbreken, ook weer met behulp van een of twee opdrachten, om snel een van de eenvoudige berekeningen uit te voeren.

Ten slotte noemen wij de in- en uitvoerorganen van de COBRA, die via het *A*-register op het rekenorgaan zijn aangesloten. Deze organen verzorgen de aanvoer van werkstukgegevens en van informatie afkomstig van de meetsystemen, en de afvoer van commando's aan de servomotoren. Deze handelingen worden ook weer uitgevoerd met behulp van opdrachten. De COBRA is uitgerust met 4 ingangs- en 4 uitgangsmogelijkheden. Eén ingang is gereserveerd voor 8-kanaals-ponsband en een tweede ingang voor schakelaars waarmee getallen tot vijf decimalen kunnen worden ingesteld (later zal blijken dat b.v. de freesdiameter afzonderlijk ingesteld moet kunnen worden). Op de overige ingangen en op de uitgangen kunnen door tussenkomst van enige aanpassingsapparaten zeer verschillende meetsystemen en servomotoren worden aangesloten.

De rekenbewerkingen van de COBRA

We zullen nu aan de hand van een speciaal geval, namelijk de besturing van een tweedimensionele contourfreesbank bij het vervaardigen van werkstukken met gecompliceerde contouren, nagaan welke de rekenbewerkingen zijn die de COBRA moet uitvoeren.

Interpoleren

Stel dat de getrokken lijn in *fig. 4* een stukje van de gewenste contour is. Op de ponsband zijn dan b.v. de coördinaten van de punten *A*, *B* en *C* aangegeven.

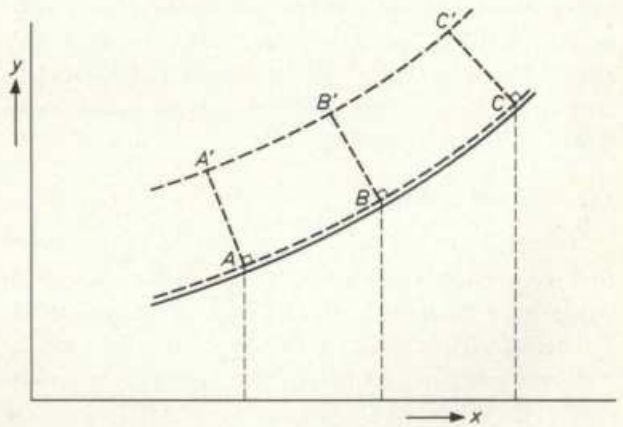

Fig. 4. De getrokken lijn is een stukje van de gewenste werkstukcontour. *A*, *B* en *C* zijn een drietal punten die op de ponsband met werkstukgegevens staan aangegeven. *A'*, *B'* en *C'* zijn punten van de gereedschapsbaan, die op een afstand van een halve freesdiameter van de werkstukcontour ligt.

(De coördinaten van de punten die op de ponsband worden aangegeven, worden afgerond op een geheel aantal malen de kleinste maateenheid. *A*, *B* en *C* liggen daardoor in het algemeen niet precies op de contour.) De COBRA moet nu tussen deze coördinaten kunnen interpoleren om de benaderde contour (de gestreepte lijn in fig. 4) te berekenen tussen de punten *A* en *B*, *B* en *C*, enz. Hiervoor is kwadratische interpolatie gekozen. Deze rekenbewerking, die zowel voor de beweging in de *x*-richting als voor de beweging in de *y*-richting moet worden uitgevoerd, moet 1000 maal per seconde herhaald kunnen worden, opdat bij een bepaalde werkstuknauwkeurigheid ook een zekere verspaningssnelheid kan worden bereikt.

[4] H. J. Heijn, Representations of switching functions and their application to computers, dissertatie Delft, 1960; ook gepubliceerd in Philips Res. Repts. **15**, 305-341 en 448-491, 1960.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij het interpoleren wordt gebruik gemaakt van een interpolatieformule volgens Bessel. Voor het bepalen van de x-waarde in het n-de punt van N gevraagde punten tussen twee opeenvolgende gegeven x-waarden (x_k en x_{k+1}) heeft de formule de volgende gedaante:

$$x_n = x_k + \frac{n}{N}(x_{k+1} - x_k) + \\ + \frac{n(n-N)}{4N^2}(x_{k+2} - x_{k+1} - x_k + x_{k-1}) + \ldots .$$

Hierin is x_n de gewenste positie van het gereedschap in de x-richting. (Bij de hier toegepaste kwadratische interpolatie worden de hogere-machtstermen verwaarloosd.)

In dit tijdschrift is reeds beschreven [2] hoe door een handige keuze van de gegevens die men op de ponsband aanbrengt, de berekening van x_n kan worden teruggebracht tot 3 à 6 optellingen. Het aantal gegevens dat bij deze methode — de methode van de zg. derde differenties — op de band moet worden aangebracht, is slechts gering, wat het voordeel van een kleine bandlengte met zich meebrengt.

De gereedschapsbaan

Niet altijd is het bekend zijn van de werkstukcontour voldoende. Bij een freesbank is vooral de gereedschapsbaan belangrijk. In fig. 4 vormt de gestippelde lijn de gereedschapsbaan en de lijnstukjes AA', BB' en CC' zijn gelijk aan de halve freesdiameter. De coördinaten van A', B' en C' zijn ook weer afgerond op een geheel aantal malen de kleinste maateenheid. Met behulp van de rekenmachine waarmee de ponsband wordt gemaakt, kunnen, in plaats van de punten A, B en C van de werkstukcontour, ook de punten A', B' en C' van de gereedschapsbaan worden berekend en de gegevens hiervan op de ponsband gezet. Meestal wordt dit ook gedaan. Een bezwaar van deze werkwijze is echter dat dan behalve het werkstuk ook de frees waarmee het werkstuk moet worden gemaakt exact vastligt. Om dit bezwaar weg te nemen, is bij de COBRA in een rekenbewerking voorzien waarmee de gereedschapsbaan voor een willekeurige freesdiameter, of de correctie van de baan voor een willekeurige freesdiameter*verandering*, kan worden berekend.

De rekenbewerking bestaat in principe uit het oprichten van de loodlijntjes AA', BB' en CC' op de contour in de punten A, B en C (fig. 4). Voor het berekenen van de afstandjes $(x_{A'} - x_A)$ enz. wordt daarbij gebruik gemaakt van de formule:

$$x_{A'} - x_A = \frac{R_f F_y}{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}.$$

Hierin is R_f de halve freesdiameter (of de halve freesdiametercorrectie). F_x en F_y zijn de x- en de y-component van de verspaningssnelheid; de waarden hiervan worden bij een hierna te bespreken rekenbewerking bepaald.

Zijn de coördinaten van de punten A', B', C', enz. berekend, dan worden de tussenliggende punten van de gereedschapsbaan door interpolatie bepaald.

De verspaningssnelheid

Bij het frezen moet de verspaningssnelheid steeds ongeveer gelijk blijven aan een bepaalde gewenste waarde, die via de ponsband wordt gegeven. De COBRA kan de verspaningssnelheid regelen door de frequentie te veranderen van de impulsgenerator in het orgaan voor de interne besturing. Voor deze regeling worden de x- en de y-component van de toegepaste verspaningssnelheid F berekend met een interpolatieformule:

$$F_x = A\left\{\frac{1}{N}(x_{k+1} - x_k) - \right. \\ \left. - \frac{2n-1}{6N^2}(x_{k+3} - 3x_{k+2} + 3x_{k+1} - x_k) + \ldots\right\},$$

en analoog voor F_y. De constante A bevat de frequentie van de impulsgenerator. Uit F_x en F_y volgt:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}.$$

Het verschil tussen F en de gewenste waarde levert het correctiesignaal waarmee de frequentie van de impulsgenerator wordt geregeld.

Uit de formules blijkt dat voor het berekenen van de verspaningssnelheid en het berekenen van de gereedschapsbaan een aantal malen moet worden vermenigvuldigd, gedeeld en wortelgetrokken, waardoor deze berekeningen aanzienlijk meer opdrachten en tijd vergen dan het berekenen van de benaderde contour. Hier staat tegenover dat de verspaningssnelheid en de punten van de gereedschapsbaan slechts enkele malen per seconde berekend behoeven te worden.

Diverse andere berekeningen

Van vele werkstukken bestaat de omtrek uit rechte lijnen en cirkelbogen. Een speciale rekenbewerking die vaak in de praktijk wordt gevraagd, is het bepalen van dit soort werkstukcontouren uit slechts enkele coördinaten. Men kan dan voor deze contouren met een zeer gemakkelijk met de hand te vervaardigen ponsband volstaan. De bedoelde rekenbewerking is wat betreft de cirkelbogen vrij ingewikkeld. Op de te gebruiken formules gaan wij hier niet nader in.

De COBRA kan voorts een aantal controleberekeningen uitvoeren om na te gaan of het interpoleren en het berekenen van de gereedschapsbaan goed verloopt. Bij het interpoleren tussen de punten A en B kan b.v.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

worden nagegaan of het eindpunt van het berekende stukje baan inderdaad overeenkomt met punt *B*. Ook wordt voortdurend gecontroleerd of de ponsbandlezer in staat is om bij de opgegeven verspaningssnelheid de informatie tijdig van de ponsband te halen. Deze controleberekeningen bestaan in het algemeen uit een aantal eenvoudige optellingen.

Een laatste berekening die wij noemen en die de COBRA voor het besturen van een contourfreesbank soms moet kunnen uitvoeren, is het vergelijken van de werkelijke plaats van het gereedschap met de gewenste. Hiervoor moet informatie van het meetsysteem aan de COBRA worden toegevoerd. Deze vergelijkingsberekening is evenals de controleberekeningen vrij eenvoudig maar moet, in het bijzonder bij gebruik van een incrementeel meetsysteem (zie [2]), vaak worden uitgevoerd, nl. met een herhalingsfrequentie die groot is ten opzichte van het maximale aantal verplaatsingen per tijdseenheid van het gereedschap.

De programmering van de COBRA

We zullen nu iets dieper op de programmering ingaan, die hierboven al even werd aangestipt.

Met behulp van ponsband worden twee programma's aan de COBRA toegevoerd. Het eerste programma bestaat uit de gegevens van het werkstuk en is daarom het *werkstukprogramma* genoemd. Het andere programma bestaat uit opdrachten en getallen die nodig zijn voor een juiste interpretatie van het werkstukprogramma en voor een juiste besturing van het gereedschapswerktuig. Dit tweede programma, dat semi-permanent in het geheugen van de COBRA wordt ondergebracht, is het *besturingsprogramma*. Het werkstukprogramma wordt voor de COBRA op ongeveer dezelfde wijze samengesteld als voor besturingssystemen met „wired logic". Het opstellen van een besturingsprogramma komt alleen bij systemen met „stored logic" voor.

Het werkstukprogramma

De gegevens van een werkstuk ondergaan, voordat met de vervaardiging kan worden begonnen, een viertal bewerkingen. De eerste drie bewerkingen leveren het werkstukprogramma; de vierde bewerking wordt door de COBRA zelf uitgevoerd. De vier bewerkingen zijn:

1) Het in een „programmeertaal" beschrijven van de werkstukgeometrie en de wijze waarop het gereedschap het werkstuk moet bewerken.
2) Het berekenen van de ideale gereedschapsbaan (of de werkstukcontour) met behulp van een grote rekenmachine, in een rekencentrum.
3) Het bepalen, eveneens met behulp van een grote rekenmachine, van de coördinaten en andere gegevens die op de ponsband moeten worden gezet om met het gebruikte besturingssysteem het gewenste werkstuk met de opgegeven nauwkeurigheid te verkrijgen.
4) Het berekenen uit de gegevens van (3) van de praktische gereedschapsbaan. Dit doet de COBRA zelf door interpolatie tussen de punten die bij de derde bewerking speciaal voor de COBRA en de te gebruiken interpolatiemethode zijn uitgezocht.

Als programmeertaal is bij Philips de APT-taal [5] gekozen, die speciaal is ontworpen voor het programmeren van numeriek bestuurde gereedschapswerktuigen.

Zoals de programma's in vele talen, bestaat ook een APT-programma uit een aantal „statements" — korte aanduidingen van een gegeven of een machinehandeling — waarmee het werkstuk en de vervaardiging daarvan worden omschreven. De eerste stap van het programmeren bestaat dus uit het opstellen van een lijst van statements.

Bij de tweede stap worden de werkstukgegevens, in de APT-taal, met behulp van ponskaarten aan een rekenmachine in het rekencentrum toegevoerd. Deze rekenmachine moet zijn voorzien van een rekenprogramma dat is afgestemd op de APT-taal. Voor een aantal grote rekenmachines zijn dit soort speciale rekenprogramma's — „compiler-programma's" — reeds geschreven.

De resultaten van de berekening kunnen met de verdere gegevens worden opgeslagen op magneetband.

De gegevens van het werkstuk zijn nu in een vorm gebracht die nog geheel onafhankelijk is van het besturingssysteem dat zal worden gebruikt. Met een tweede speciaal rekenprogramma, het „postprocessorprogramma", worden daarom in de derde stap van het programmeren de typische eigenschappen van het te gebruiken besturingssysteem (b.v. de gebruikte interpolatiemethode) in het programma verwerkt. Deze derde stap van het programmeren, die evenals de tweede stap in het rekencentrum plaatsvindt en die vaak direct na de tweede stap wordt uitgevoerd, levert de ponsband die aan het besturingssysteem, in ons geval aan de COBRA, wordt toegevoerd.

Elk type besturingssysteem vereist een eigen postprocessor-programma. De COBRA maakt hier geen uitzondering op. Wel kan de COBRA, zoals we zullen zien, bepaalde gedeelten van het postprocessorprogramma zelf uitvoeren.

Het ontstaan van het werkstukprogramma is schematisch aangegeven in *fig. 5*.

[5] APT is een afkorting van „Automatically Programmed Tools". Een Amerikaanse researchgroep (Illinois Institute of Technology, Research Institute, IITRI) werkt aan de verdere ontwikkeling van deze taal, daarbij gesteund door een groot aantal Amerikaanse firma's en een tiental Europese, waaronder Philips.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

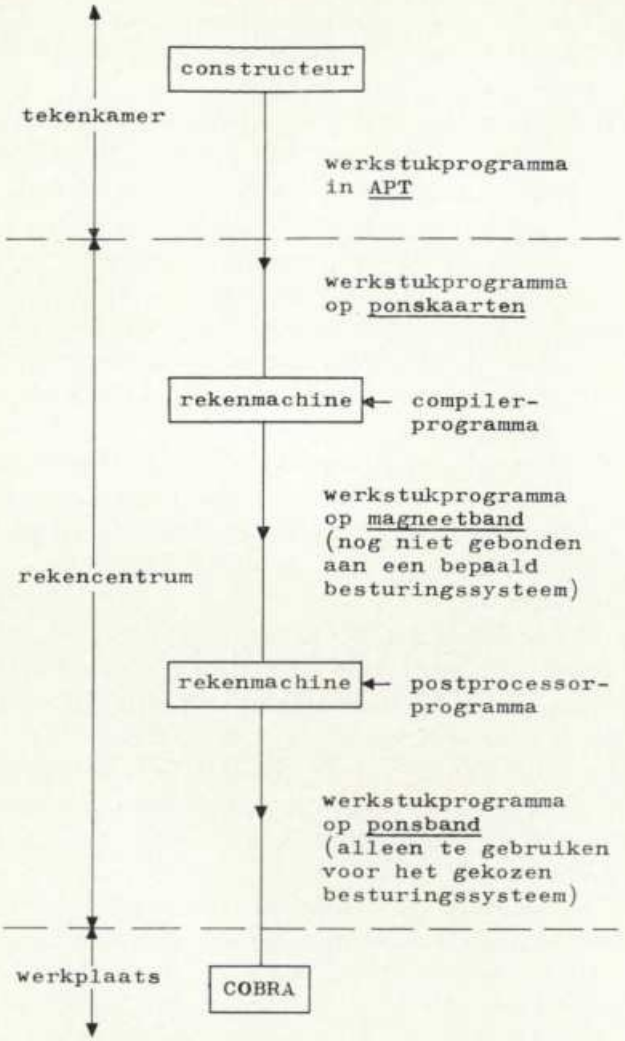

Fig. 5. Schema van de bewerkingen die het werkstukprogramma ondergaat tussen de tekenkamer en de werkplaats. In de tekst worden de verschillende bewerkingen en de speciale rekenprogramma's die daarvoor nodig zijn, nader toegelicht.

In *fig. 6* is een eenvoudig werkstuk getekend. Als voorbeeld bekijken we hiervan het programma in APT (*tabel I*) en de gegevens die met behulp van ponsband aan de COBRA worden toegevoerd (*tabel II*).

Het werkstuk is een schijf die met een frees van diameter 8 mm moet worden gefreesd met een tolerantie van 0,01 mm. De omtrek van het werkstuk bestaat uit een viertal rechte lijnen en twee cirkelbogen. Van L_1 en L_2 zijn de snijpunten P_1 en P_2 met de x-as gegeven (zie fig. 6) en de hoeken die L_1 en L_2 met de x-as maken. Van C_1 is de straal gegeven. Bovendien is gegeven dat C_1 moet raken aan L_1 en L_2. L_3 is een rechte lijn door P_2 en P_3. Van C_2 is weer de straal gegeven; daarnaast moet C_2 raken aan L_3 in het punt P_3. L_4 is een rechte lijn door P_1 die raakt aan C_2.

In het APT-programma (tabel I) zien we in de eerste zeven regels een aantal algemene gegevens, waaronder de gewenste freesdiameter en de tolerantie. De punten, de lijnen en de cirkelbogen worden gedefinieerd in de volgende acht regels. De rest van het programma geeft aan dat de frees uit het beginpunt naar het snijpunt van L_1 en L_2 moet gaan, van daaruit links van L_1 naar boven moet bewegen, langs C_1, enz., tot het eindpunt weer is bereikt.

Dit APT-programma kan aan het rekencentrum worden geleverd, waar de freesmiddelpuntsbaan wordt berekend. In fig. 6 is deze getekend. Van de freesmiddelpuntsbaan wordt ten slotte slechts een zeer beperkt aantal gegevens op een ponsband gezet, die kan worden toegevoerd aan de COBRA.

In tabel II staan deze gegevens; U en V geven de absolute x- en y-coördinaten aan en X en Y de verplaatsingen in deze richtingen. De andere letters geven in code bewerkingen aan. Voorbeelden zijn:

F 20 → snelheid van de pen 20 mm/sec
G 8 → rechte lijn met stilstand van de pen aan begin en einde
M 3 → pen neer
enz.

De gegevens die staan aangegeven in tabel II nemen een stukje ponsband ter lengte van 35 cm in beslag.

Het besturingsprogramma

Zoals voor elk werkstuk een speciaal werkstukprogramma moet worden gemaakt, moet ook voor elke combinatie van de COBRA met een bepaald type gereedschapswerktuig een afzonderlijk besturingsprogramma worden opgesteld. Deze taak komt wat omvang betreft overeen met het ontwerpen van de bedrading van een besturingssysteem met „wired logic"; in een

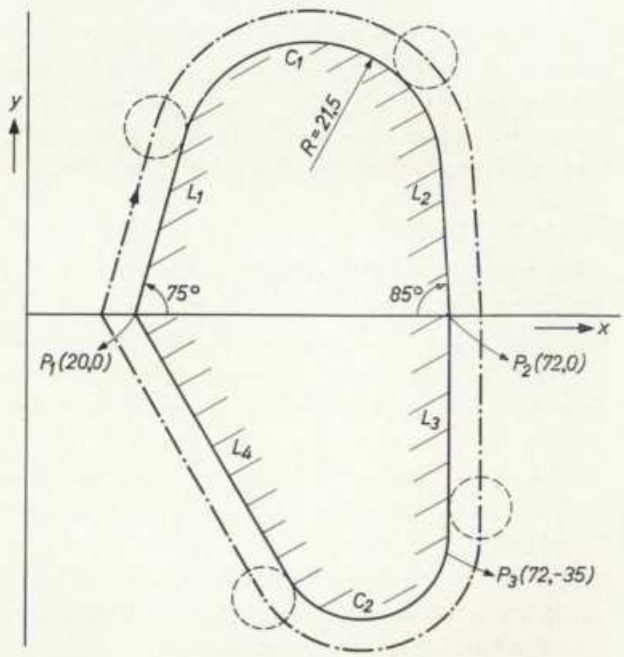

Fig. 6. Een eenvoudig werkstuk bestaande uit rechte lijnen en cirkelbogen. De streep-stiplijn is de freesmiddelpuntsbaan; de gestippelde cirkels stellen de frees voor (diameter 8 mm). Het programma in APT van dit werkstuk geeft tabel I.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel I. Het werkstukprogramma in de APT-taal van het werkstuk in fig. 6.

```
PARTNO   PHIL. TECH. TYDS.     1
         NOPOST
         CLPRNT
         CUTTER/8.0
         UNITMM
         INTOL/0.01
SETPT  = POINT/0,0,0
P1     = POINT/20,0,0
P2     = POINT/72 ,0,0
L1     = LINE/P1,ATAN3L,75
L2     = LINE/P2,ATAN3L,(180-85)
L3     = LINE/P2,(P3=POINT/72 ,-35,0)
C1     = CIRCLE/XLARGE,L1,XSMALL,L2,RADIUS,21.5
C2     = CIRCLE/TANTO,L3,XSMALL,P3,RADIUS,15
L4     = LINE/P1,RIGHT,TANTO,C2
         FROM/SETPT
         GO/TO,L4,TO,(PRTSRF=PLANE/0,0,1,0),TO,L1
         TLLFT,$
         GOLFT/L1
         GOFWD/C1
         GOFWD/L2
         GOFWD/L3
         GOFWD/C2
         GOFWD/L4,PAST,L1
         GOTO/SETPT
         END
FINI
```

voorbeeld zullen we echter nog zien dat het aanbrengen van het besturingsprogramma in de COBRA heel wat sneller gaat dan dit bedraden.

Bij het samenstellen van het besturingsprogramma moet enerzijds rekening worden gehouden met de wijze waarop het werkstukprogramma geïnterpreteerd moet worden. D.w.z. de gegevens die met behulp van het postprocessor-programma in het werkstukprogramma zijn aangebracht, moeten ook in het besturingsprogramma worden verwerkt. Anderzijds moet het besturingsprogramma zorgen voor een juiste aanpassing van de besturingsautomaat aan het gereedschapswerktuig, wat betekent dat rekening moet worden gehouden met de gebruikte meetsystemen, de servomotoren, het aantal sledebewegingen, enz. Ook valt hieronder de mate van versnelling en vertraging van de sledebewegingen die in verschillende toepassingen is vereist in verband met de nauwkeurigheid.

We hebben gesteld dat voor een universeel besturingssysteem een korte levertijd gerealiseerd zou kunnen worden, ook voor uitzonderlijke toepassingen. Bij het klaarmaken van de COBRA voor een nieuwe toepassing neemt het opstellen van het besturingsprogramma de meeste tijd in beslag. Daarom is het noodzakelijk, en de mogelijkheid is in principe aanwezig, dat in de toekomst voor het opstellen van het besturingsprogramma een zelfde patroon wordt gevolgd als voor het opstellen van het werkstukprogramma. Dit betekent dat een „taal" moet worden gemaakt waarin op eenvoudige wijze het besturingsprogramma kan worden beschreven, waarna ook weer met tussenkomst van het rekencentrum automatisch de ponsband met het besturingsprogramma gemaakt moet kunnen worden. De eerste stappen om tot het samenstellen van een geschikte „taal" te komen zijn reeds gedaan.

Tabel II. Het werkstukprogramma van het werkstuk in fig. 6, weergegeven zoals het komt te staan op de ponsband die aan de COBRA wordt toegevoerd.

F20G8X1571Y—54	M3G1U2378V2956	G2U7381V2518	
I2463J—660	U7600V17G9	Y—3517G1	G2U4046V—44
351—1900	U1571V—54G9	M4U0V0G8	M2

Een bijzonderheid bij het samenstellen van het besturingsprogramma betreft het „door elkaar heen" uitvoeren van ingewikkelde berekeningen (b.v. van de gereedschapsbaan of de verspaningssnelheid) en eenvoudige berekeningen (b.v. interpoleren). Hiervoor moeten de tijden voor de onderdelen van de rekenbewerkingen nauwkeurig bekend zijn. Deze tijden, de onderbreekpunten en het opbergen van de tussenresultaten, moeten in het programma van de rekenmachine worden verwerkt, wat het samenstellen van een besturingsprogramma extra ingewikkeld maakt. Dit geldt ook nog wanneer alle opdrachten even lang worden gemaakt, een vereenvoudiging die in de COBRA is ingevoerd.

Hoewel het samenstellen van het besturingsprogramma voor een bepaalde gereedschapsmachine slechts éénmaal behoeft te gebeuren, zal toch in een volgende uitvoering van de COBRA een automatische onderbreekmogelijkheid, de zg. „interrupt feature", worden ingevoerd. Hiertoe kan nog een impulsgenerator worden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ingebouwd die b.v., wanneer de snelle berekening 1000 maal per seconde moet worden uitgevoerd, met een frequentie van 1000 Hz impulsen geeft die steeds een afzonderlijke opdracht doen uitvoeren waarmee de langdurige berekening wordt onderbroken, ongeacht in welk stadium deze op dat moment is. Tegelijk met het onderbreken moet ook automatisch het tussenresultaat tijdelijk worden opgeborgen, en na het beëindigen van de snelle berekening, dat is een fractie van 1/1000 s later, moet de langdurige weer worden gestart.

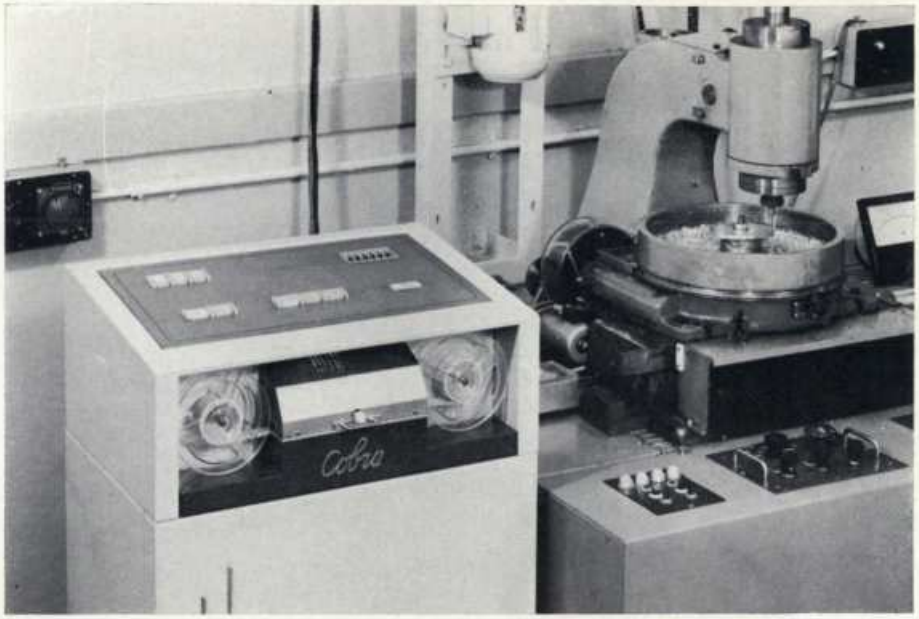

Fig. 7. De COBRA als besturingsautomaat van een nokkenfreesmachine. De nok is bevestigd op een draaitafel die met behulp van een slede heen en weer kan worden geschoven. De frees kan niet worden verplaatst.

Praktische ervaringen

De praktische ervaringen die tot dusver met de COBRA zijn opgedaan, hebben betrekking op toepassingen van zeer verschillende aard, die juist daardoor illustratief zijn voor de vele mogelijkheden.

De besturing van een nokkenfreesbank

Allereerst werd de COBRA beproefd in combinatie met een eenvoudige nokkenfreesbank. Deze bevatte één slede waarop een draaitafel was gemonteerd (*fig. 7*), en hierop kon het werkstuk, de nok, worden bevestigd. In principe kwam deze freesbank overeen met de bank die werd beschreven in het aangehaalde artikel [2]: de positie van de draaitafel wordt gemeten en afhankelijk daarvan wordt de positie van de slede ingesteld. De instelling van de slede is dus een functie van de hoekstand van de draaitafel. Hiervoor is slechts een ééndimensionele besturing nodig.

De mogelijkheden van de COBRA werden bij deze eendimensionele besturing niet volledig benut. Daardoor konden vele functies van de elektronische randapparatuur, d.w.z. de apparatuur die nodig is voor de koppeling van de servomotoren en het meetsysteem aan de besturing, in de COBRA worden ondergebracht. (In de toekomst zal het waarschijnlijk normaal zijn dat de COBRA ook deze functies verricht.)

Het besturingsprogramma van de COBRA werd zo opgesteld dat samen met de freesbank een systeem ontstond dat identiek was aan een bestaande freesbank met „wired logic"-besturing. Werkstukprogramma's voor deze bestaande besturing konden daardoor ook op de COBRA worden verwerkt. Een — voor de werkplaatspraktijk niet ongewone — complicatie was daarbij dat de werkstukgegevens voor de bestaande freesbank in metrische maten waren opgesteld. Voor de proefcombinatie moesten deze door de COBRA zelf in inch-maten worden omgerekend. De proefnemingen bewezen dat de COBRA zonder moeilijkheden, uitgaande van dezelfde ponsband, dezelfde werkstukken kon maken als de bestaande combinatie.

Bij de bestaande „wired logic"-besturing werd nog niet de al eerder genoemde interpolatiemethode volgens Bessel toegepast, die, met gebruikmaking van de methode der derde differenties, zo gunstig is wat betreft de lengte van de ponsband. Als tweede proef werd nu een besturingsprogramma samengesteld waarbij alleen de interpolatiemethode afweek van het eerste programma. Voor dit nieuwe besturingsprogramma werd een nieuwe ponsband met werkstukgegevens gemaakt en een werkstuk werd gefreesd. Er bleek een volkomen identiek werkstuk te ontstaan als met het eerste besturingsprogramma, terwijl slechts ongeveer 1/3 van de oorspronkelijke bandlengte nodig was.

Vooral deze tweede proef illustreert duidelijk de flexibiliteit van de COBRA: terwijl het geschikt maken voor de betere interpolatiemethode bij „wired logic" een ingrijpende verandering van de bedrading zou betekenen, wat in de praktijk nooit gedaan zou worden wegens de daaraan verbonden kosten en omdat de freesbank een maand buiten werking zou zijn, werd voor de COBRA in twee weken tijds een nieuw besturingsprogramma opgesteld, dat toen het klaar was in twee minuten in het geheugen kon worden ingelezen. Aan de opstelling werd niets veranderd.

De COBRA berekent zijn eigen werkstukprogramma

Bij de meeste besturingen voor het maken van nokken, loopt de werkstukprogrammering via een reken-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

centrum. De ontwerper van een nok maakt een tabel waarin hij gegevens plaatst zoals opzethoogten, opzethoeken, de grondstraal van de curve die het nokrolmiddelpunt moet volgen en de toe te passen nokroldiameter, freesdiameter, enz. Het rekencentrum beschikt over een programma waarmee uit deze gegevens een nokprofiel kan worden berekend met o.a. een keuze uit een lineaire, een parabolische, een sinusvormige, een scheve sinusvormige, of een 5e-, 7e- of 9e-graads oploop. Het resultaat is een tabel met de coördinaten van de te frezen contour, in een ponsband die aan het besturingssysteem van het gereedschapswerktuig moet worden toegevoerd.

Het blijkt dat in de praktijk de scheve sinusvormige oploop zeer veel wordt gebruikt. Het leek daarom interessant te proberen voor de COBRA een „besturings"-programma op te stellen waarmee de berekening van dit nokprofiel kan worden uitgevoerd zonder de hulp van het rekencentrum in te roepen. Als vereenvoudiging werd daarbij ondersteld dat de diameter van de te gebruiken frees gelijk was aan de nokroldiameter, waardoor de moeilijke berekening van de freesmiddelpuntsbaan verviel. Voor de interpolatie werd de kwadratische methode volgens Bessel gekozen.

Dit „besturings"-programma kon zonder veel moeite worden gerealiseerd. Het bleek dat de COBRA met gebruikmaking van ongeveer 500 geheugenadressen in 1 minuut een volledige ponsband kon leveren voor een over 360° lopend nokprofiel met een willekeurig aantal op- en aflopen. Het programma kon zelfs gemakkelijk zodanig worden uitgebreid dat er een keuze gemaakt kon worden tussen vier verschillende oploopvormen.

Deze prestatie illustreert de rekenmogelijkheden van de COBRA. Het wordt echter nog interessanter wanneer we bedenken, dat men voor de COBRA een besturingsprogramma kan samenstellen waarin de berekening van de ponsband en de eerder beschreven besturing van de nokkenfreesbank, waarvoor eveneens ongeveer 500 geheugenadressen nodig zijn, worden gecombineerd. Dit betekent namelijk dat niet alleen het tussenstadium van het rekencentrum vervalt, maar ook nog het tussenstadium van de ponsband. De opzethoogten, opzethoeken, enz. kunnen dan direct aan de COBRA worden toegevoerd, b.v. met behulp van schakelaars, waarna de gevraagde nok wordt gefreesd.

De besturing van een teken- en graveermachine

De numerieke besturing van teken- en graveermachines zal in de naaste toekomst op grote schaal worden toegepast bij het maken van fotomaskers voor geïntegreerde schakelingen, opgedampte bedrading, spi-

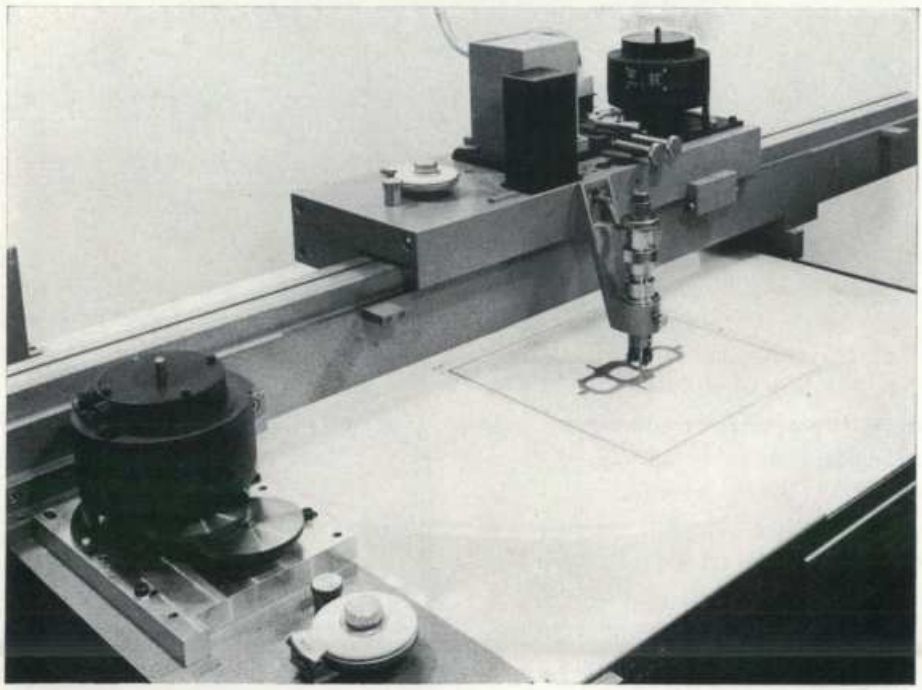

Fig. 8. Een automatische tekentafel in gebruik als graveermachine. Het bovenste support kan in de x-richting worden bewogen over een geleiding die is bevestigd op een tweede support dat in de y-richting kan worden bewogen (zie ook fig. 9). De twee servomotoren die op de foto zichtbaar zijn, zorgen voor de beweging van de supports. Het „werkstuk" op de tekentafel is een fotomasker voor een geheugenelementje.

raalgroeflagers, enz. Vooruitlopend op deze ontwikkeling, hebben we de COBRA beproefd als commando-orgaan voor een dergelijke machine (*fig. 8*).

De elektronische randapparatuur, die in dit geval

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

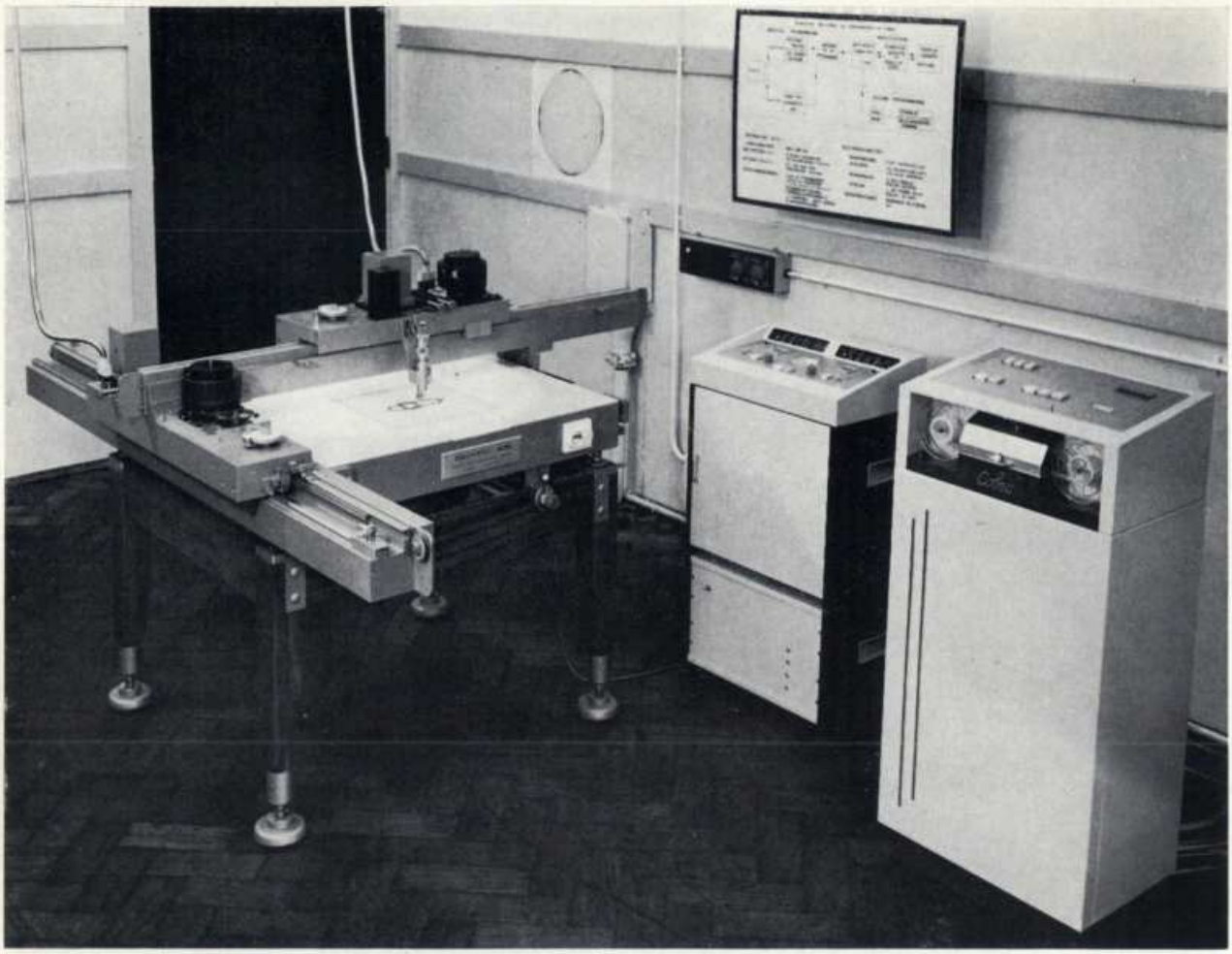

Fig. 9. De COBRA met de tekentafel van fig. 8. De kast die tussen de COBRA en de tekentafel is opgesteld, bevat elektronische apparaten voor het numeriek weergeven van de positie van de tekenpen.

geheel buiten de COBRA is gehouden, werd daarbij vrij uitvoerig opgezet om de machine ook met de hand te kunnen bedienen. De meetsystemen gaven b.v. niet alleen signalen aan het regelsysteem, maar ook aan een positie-indicator, zodat steeds een numerieke aanwijzing van de sledepositie aanwezig was (*fig. 9*).

De rekenmogelijkheden die de programma's van de COBRA voor deze toepassing inhielden, waren anders dan in de hierboven besproken gevallen. Er werd b.v. lineaire en zg. circulaire interpolatie toegepast in plaatst van kwadratische. Om het programmeren met de hand zo eenvoudig mogelijk te houden, werd in het programma een geleidelijke automatische versnelling en vertraging gerealiseerd, welke van belang is zowel bij het starten en stoppen als bij het maken van een scherpe hoek (zie tabel II). Het was ook noodzakelijk om met schaalfactoren te kunnen werken, zowel met een zelfde schaal voor de x- en voor de y-richting, als met verschillende schalen.

Met de proefcombinatie werden vele tekeningen gemaakt. De *figuren 10, 11* en *12* geven een drietal voorbeelden daarvan. In fig. 10 zijn de contouren getekend (de hoogtelijnen) van een matrijs voor de conus van een televisiebeeldbuis. De gegevens van deze

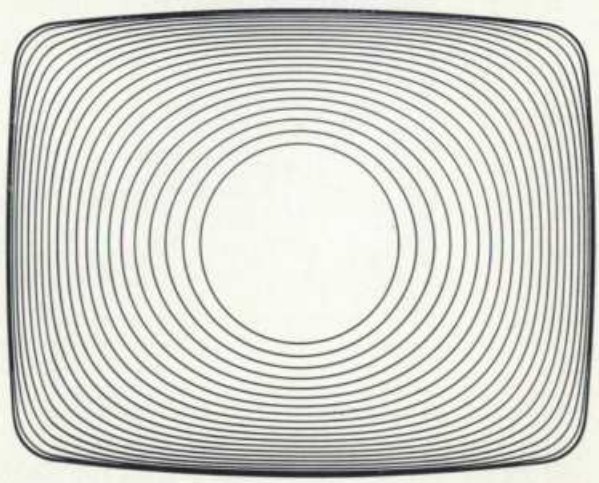

Fig. 10. Werkstuk gemaakt met de tekenmachine van fig. 8 en 9, bestuurd door de COBRA. Getekend zijn de contouren (hoogtelijnen) van de matrijs voor het persen van de conus van een televisiebeeldbuis.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

contouren zijn tevoren berekend en op een ponsband gezet, waarna de vorm van de contouren door het uittekenen met behulp van de COBRA en de tekenmachine wordt gecontroleerd. Tegelijkertijd komen daarbij eventuele fouten in de ponsband aan het licht.

De tweede afbeelding (fig. 11) laat een fotomasker zien van een geïntegreerde schakeling. Het graveren met de hand van een dergelijk masker neemt ongeveer een dag in beslag, terwijl de graveermachine bestuurd door de COBRA het, na vijf uur programmeren, in een half uur kan doen. Behalve het verkrijgen van een nauwkeuriger produkt is er dus ook een tijdwinst. Een grotere tijdwinst wordt nog verkregen wanneer een verandering in het fotomasker moet worden aangebracht. Tegenover opnieuw een dag met de hand graveren staat nu een verandering in de ponsband aanbrengen, wat meestal snel kan gebeuren, en opnieuw een half uur graveren.

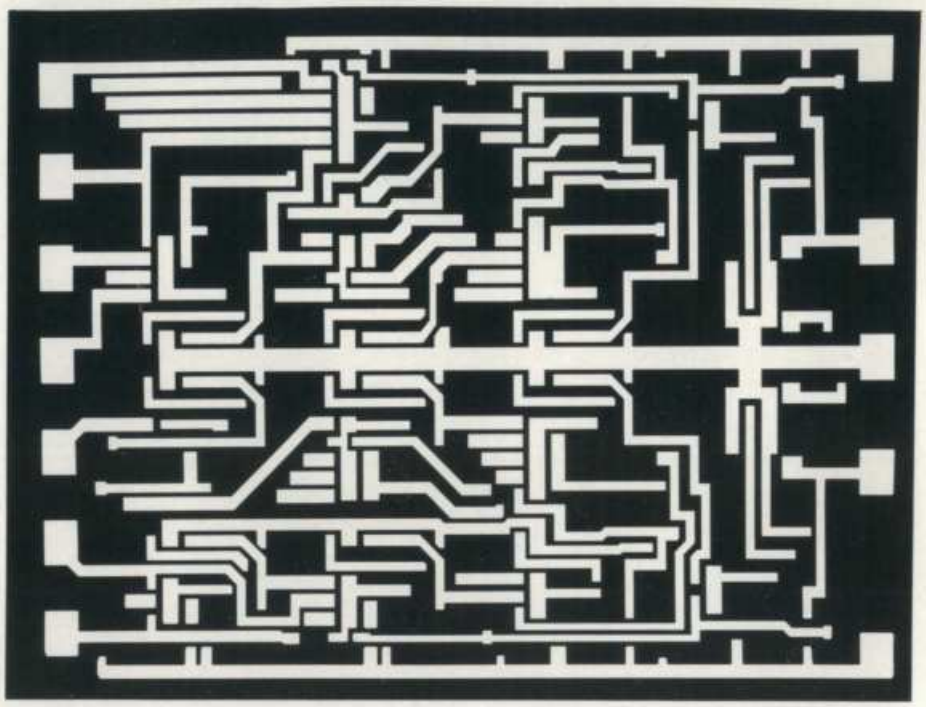

Fig. 11. Een fotomasker voor een geïntegreerde schakeling, getekend met de tekenmachine bestuurd door de COBRA.

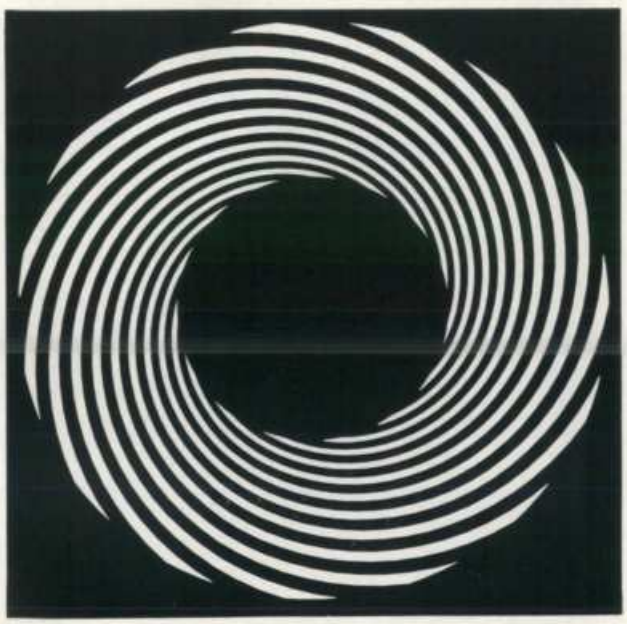

Fig. 12. Een fotomasker voor een spiraalgroeflager, getekend met de tekenmachine bestuurd door de COBRA.

Fig. 12 laat een fotomasker zien van een spiraalgroeflager, waarbij een zelfde patroon een aantal malen is herhaald, steeds nadat het werkstuk waarin wordt gegraveerd over een aantal graden is gedraaid. Bij werkstukken waarbij een eenvoudig patroon zeer vaak herhaald moet worden, wordt de programmeertijd kort ten opzichte van de bewerkingstijd.

Toekomstverwachting

Op dit ogenblik kan de COBRA reeds betere prestaties leveren dan elk ander bestaand besturingssysteem voor gereedschapswerktuigen. De mogelijkheden zijn echter nog in het geheel niet uitgeput. De COBRA bevindt zich in een ontwikkeling die aansluit bij de snelle verdere ontwikkeling van digitale elektronische rekenmachines. Als gevolg van deze ontwikkeling kunnen we in de naaste toekomst twee dingen verwachten: een economischer constructie van kleine rekenmachines en een vergroting van de rekensnelheid.

Het belang van de eerste factor spreekt voor zich-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

zelf. Wat de tweede betreft: de grotere rekensnelheid zal, samen met het toepassen van grotere geheugens, de mogelijkheid geven dat de COBRA voor verschillende toepassingen zijn eigen werkstukprogramma kan berekenen. Voor het besturen van de eenvoudige nokkenfreesbank is dit nu al gerealiseerd. In één van de voorbeelden hebben we gezien dat de COBRA vele functies van de elektronische randapparaten kan overnemen. Ook dit zal door het gebruiken van grotere rekensnelheden en grotere geheugens algemene toepassing kunnen vinden. Een mogelijkheid die in de toekomst gerealiseerd zal kunnen worden is het corrigeren van een werkstuk nadat automatisch een aantal metingen zijn uitgevoerd. Ook zal het mogelijk zijn dat de COBRA zelf optimale verspaningscondities bepaalt.

Samenvatting. Met het toepassen van een kleine digitale rekenmachine voor de numerieke besturing van gereedschapswerktuigen ontstaat een universeel systeem dat aangepast kan worden aan elk willekeurig gereedschapswerktuig door het juiste besturingsprogramma in het geheugen aan te brengen. In het artikel wordt de COBRA beschreven, een proefmodel van een dergelijk systeem, en een aantal experimenten die de bruikbaarheid en vooral de flexibiliteit van het systeem duidelijk aantonen. De programmering van de COBRA blijkt wat betreft het werkstukprogramma geheel gelijk te lopen met de programmering van andere systemen, terwijl speciaal bij programmeren met de hand de werkstukprogrammering veel eenvoudiger is. Het opstellen van het besturingsprogramma is daarentegen een taak die alleen bij systemen als de COBRA voorkomt en die bij elke toepassing van de COBRA éénmaal moet geschieden. Geschikte wegen, via een eenvoudige programmeertaal en met hulp van een rekencentrum, zijn hiervoor in principe aanwezig. Mede door de snelle ontwikkeling van digitale rekenmachines wordt in de toekomst een sterke verbreiding van het COBRA-systeem verwacht, zowel wat de aantallen als wat betreft de aard van de toepassingen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een 8-mm-reflexieklystron van eenvoudige constructie

621.385.623.5

Radar op 8-mm-golven wordt thans veelvuldig gebruikt o.a. voor navigatie op nauwe waterwegen. In de installatie hiervoor, die een aantal jaren geleden in dit tijdschrift is beschreven [1], wordt als hulposcillator van de ontvanger een reflexieklystron gebruikt. Met het oog op toepassingsmogelijkheden voor reflexieklystrons in dit golflengtegebied waarvoor enigszins andere eisen worden gesteld — b.v. in allerlei meetopstellingen —, is een experimentele 8-mm-buis ontwikkeld, die ongeveer dezelfde eigenschappen heeft als de bovengenoemde buis maar die meer mogelijkheden tot afstemming biedt en veel eenvoudiger van constructie is. De constructie van de buis is schematisch weergegeven in *fig. 1*. Boven- en onderhelft van de buis zijn in constructie nagenoeg aan elkaar gelijk: de meeste onderdelen zijn identiek of uit dezelfde grondvorm afgeleid. Ook is het aantal onderdelen betrekkelijk klein. Karakteristiek voor de constructie is verder het gebruik van de grote veren *1* en *2*, die resp. het kanon en de reflector tegen het centrale blok met de trilholte gedrukt houden; het monteren van de buis is daardoor vrij eenvoudig.

De trilholte van de buis bestaat uit de combinatie van het rotatiesymmetrische deel C_1, het conische deel C_2 en een relatief lange rechte golfpijp $C_3 + C_4$, die zich deels binnen deels buiten het vacuüm van de buis bevindt (*fig. 2*) en die wordt afgesloten met een sterk reflecterend element, b.v. een koppelgat of een zuiger. Via dit element geeft het klystron vermogen af aan de uitwendige keten. De afsteminrichting bevindt zich in het uitwendige deel van de trilholte. Ook dit laatste draagt aanzienlijk bij tot vereenvoudiging van de constructie; deze oplossing was mogelijk doordat bij de gekozen vorm van de trilholte de lengte ervan enige malen de golflengte mag zijn.

Zoals in elk reflexieklystron, vallen de meeste bundelelektronen uiteindelijk op het tuitvormige deel van de wand van de trilholte en aldaar wordt dus nagenoeg het gehele bundelvermogen gedissipeerd. In de nieuwe buis is dit deel aan alle kanten omringd door dikke koperen wanden, zodat de ontwikkelde warmte gemakkelijk wordt afgevoerd. Variaties in bundelstroom en afgegeven vermogen hebben daardoor slechts geringe temperatuurveranderingen ten gevolge. Eventuele variaties van de thermische uitzetting der glazen delen kunnen de onderlinge positie van kanon, reflector en

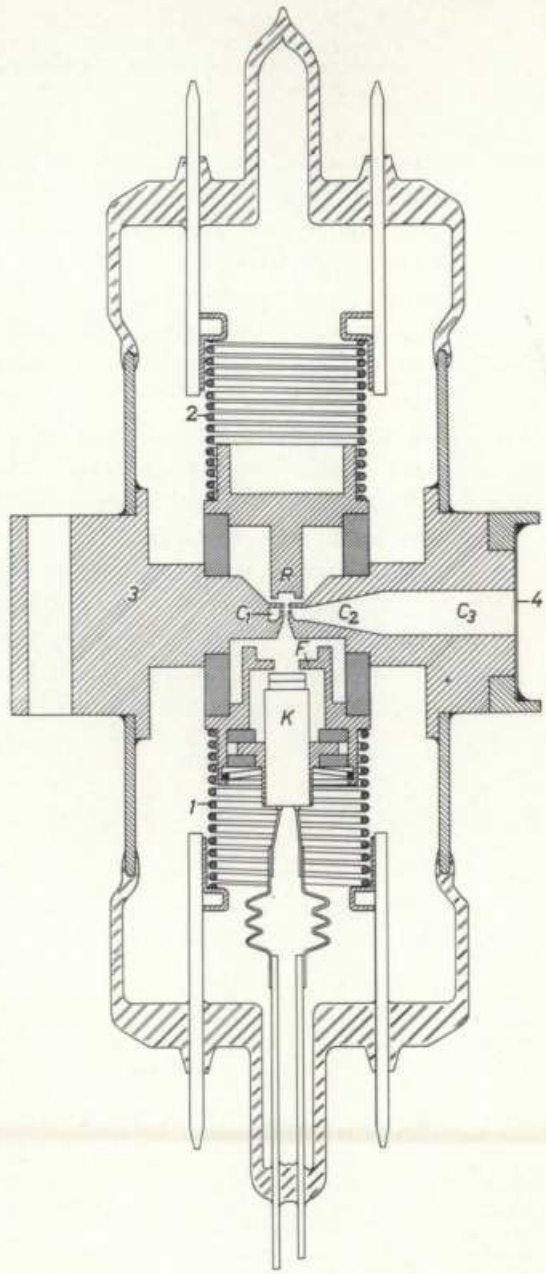

Fig. 1. Schematische doorsnede van het experimentele 8-mm-reflexieklystron. Het kanongedeelte (met kanon *K* en focusseerelektrode *F*) en het gedeelte met de reflector *R* worden door veren *1* en *2* (tevens toevoeren) op het centrale koperen blok *3* gedrukt. De juiste onderlinge positie van de diverse onderdelen wordt gewaarborgd door keramische afstandsringen (geschaduwd). C_1 centraal deel van de trilholte, C_2 conisch deel, C_3 pijpvormig deel binnen de buis, *4* vacuümvenster.

[1] Zie b.v. J. M. G. Seppen en J. Verstraten, Een 8-mm-radar installatie, Philips techn. T. **21**, 41-53, 1959. De constructie van het daarin gebruikte reflexieklystron is in hoofdlijnen identiek met die van de reflexieklystrons voor 4 en 2,5 mm die men beschreven vindt in: B. B. van Iperen, Philips techn. T. **21**, 225, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

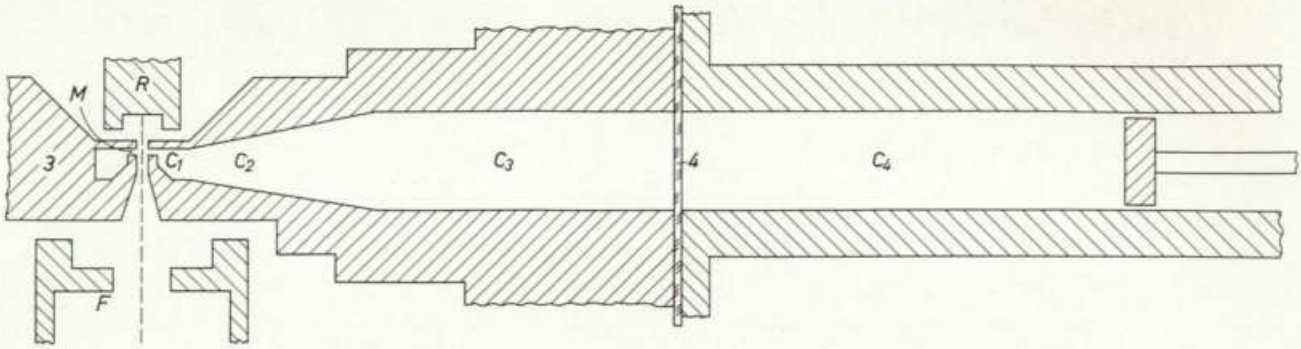

Fig. 2. Vereenvoudigde voorstelling van de complete trilholte. De delen C_1, C_2 en C_3 bevinden zich in het vacuüm. In het uitwendige stuk C_4, dat samen met C_3 het pijpvormige gedeelte vormt, wordt een afsteminrichting aangebracht. M interactiespleet. Overige tekens als in fig. 1.

trilholte niet beïnvloeden dank zij de reeds genoemde veerconstructie. De frequentie van de buis is daardoor uiterst stabiel: ze varieert slechts met 0,45 MHz bij 1 % verandering van de bundelstroom, en met 0,14 MHz bij 1 % verandering van het gloeivermogen. Tevens is de buis door de toegepaste bevestiging van kanon- en reflectorgedeelte in hoge mate ongevoelig voor mechanische trillingen en schokken.

De buis kan op verschillende manieren worden verstemd. We vermelden hier vier methodes (*fig. 3*). a) Men kan de lengte van het pijpvormige deel van de trilholte variëren met een zuiger. b) Men kan via een sleuf in de brede zijde een vaantje van diëlektrisch materiaal meer of minder ver in de pijp brengen. Met deze beide methodes is een verstemming van ca. 3 %, d.i. ca. 1000 MHz, te realiseren; dit is minder dan bij de oude buis, maar voor vele toepassingen voldoende. Bij de afstemmethode (c) worden twee saffierpennetjes via gaatjes in de brede wand meer of minder ver in de golfpijp gebracht. Deze methode (evenals methode d) is vooral geschikt voor *snelle periodieke* frequentievariatie (frequentiemodulatie): daartoe monteert men de zeer lichte pennetjes op een luidsprekermembraan [2]. De bovengrens van de frequentiezwaai kan daarbij worden ingesteld volgens methode (a) of (b). Bij methode (d) ten slotte wordt de

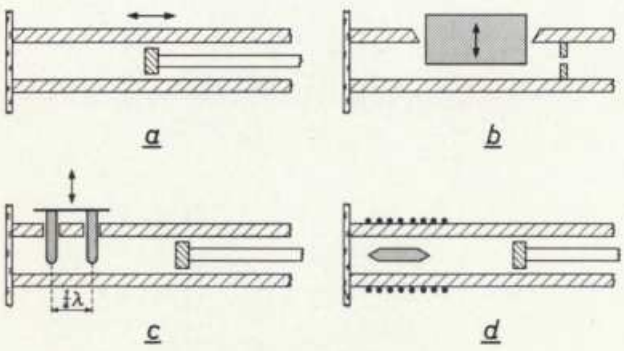

Fig. 3. Vier methodes om de buis te verstemmen.
a) Mechanisch, met een verplaatsbare zuiger.
b) Mechanisch, met een vaantje diëlektrisch materiaal dat door de brede wand van de golfpijp steekt.
c) Mechanisch, met saffierpennetjes die door de brede wand van de golfpijp steken.
d) Elektrisch, door middel van een stukje ferriet in de golfpijp dat gemagnetiseerd wordt door een uitwendige spoel.
Methodes (a) en (b) laten een verstemming over ca. 1000 MHz toe, methode (d) over ca. 500 MHz. Methodes (c) en (d) zijn geschikt voor frequentiemodulatie.

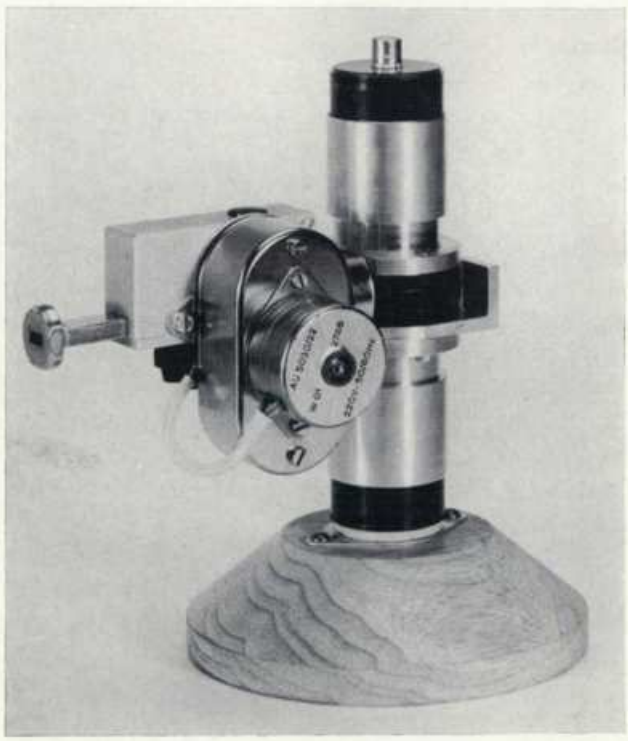

Fig. 4. Het reflexieklystron, compleet met uitwendig deel van de trilholte, waarin een versteminrichting volgens fig. 3*b* en voorzien van een motortje met vertragingsmechanisme voor afstandsbediening daarvan. Werkparameters: bundelstroom 15 mA, anodespanning 2500 V, gloeivermogen 5,8 W. Uitgangsvermogen ca. 100 mW, afstemgebied ca. 1000 MHz.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

frequentie gevarieerd door een in de pijp geplaatst ferrietstaafje meer of minder sterk te magnetiseren met behulp van een om de golfpijp gewikkelde solenoïde. Hier vindt de verstemming dus elektrisch plaats. De frequentie kan met deze methode gevarieerd worden in een gebied van 1 à 1½% (ca. 500 MHz). Andere elektrisch verstembare oscillators, in het bijzonder de „backward wave oscillators", laten een grotere frequentiezwaai toe, maar zijn veel gecompliceerder. Heeft men niet zo'n grote frequentiezwaai nodig — voor allerlei dynamische metingen is 150 tot 200 MHz reeds ruim voldoende — dan is de hier beschreven buis met een modulatie-inrichting volgens methode (d) dus zeer attractief.

In *fig. 4* vindt men een afbeelding van een buis compleet met afsteminrichting volgens methode (b). Het vaantje wordt verplaatst door een excentrische schijf, die in beweging gebracht wordt door een motortje. Deze uitvoeringsvorm van de nieuwe buis is in het bijzonder geschikt voor toepassing in radarapparaten: de buis bevindt zich daar direct onder de antenne en moet derhalve op afstand bediend kunnen worden. Het verloop van het uitgangsvermogen P_0 met de frequentie bij deze uitvoering is weergegeven in *fig. 5*. Hierin is ook uitgezet de reflectorspanning, die voor elke frequentie zodanig wordt ingesteld dat P_0 maximaal wordt.

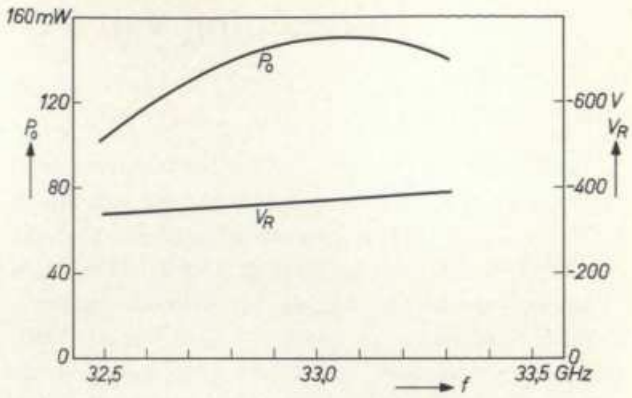

Fig. 5. Het verloop van het uitgangsvermogen P_0 met de frequentie f bij verstemming volgens de methode van fig. 3*b*, zoals gevonden bij metingen aan een willekeurig exemplaar. V_R bijbehorende reflectorspanning.

G. H. Plantinga
J. W. Rommerts
Th. J. Westerhof

[2] Een soortgelijke constructie (inclusief het principe van een gedeeltelijk buiten het vacuüm gelegen trilholte) is in dit laboratorium eerder toegepast voor een multireflexieklystron; zie B. B. van Iperen en J. L. van Lidth de Jeude, Philips techn. T. **24**, 178, 1962.

Ir. G. H. Plantinga, J. W. Rommerts, Th. J. Westerhof, medewerkers van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven. — Ir. Plantinga is thans medewerker van Philips' Halfgeleiderfabriek te Nijmegen. J. W. Rommerts is in juni 1966 onverwachts overleden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Berekening van verkeerslichtensequenties

651.056

Het vinden van een optimale verkeerslichtensequentie [1] voor een gecompliceerd kruispunt van wegen is niet eenvoudig. Een verkeerslichtensequentie moet het aankomende verkeer redelijk kunnen verwerken, ze moet verhinderen dat de verschillende verkeersstromen met elkaar in conflict komen, en ze moet, om onnodige vertragingen te vermijden, zoveel mogelijk „groene golven" bevatten. Men kan de sequentie optimaal noemen als onder deze voorwaarden de som van de groentijden van de lichten zo groot mogelijk is.

We hebben een rekenmachineprogramma ontwikkeld, het programma „VERKEER", waarmee men dit probleem ook voor zeer ingewikkelde kruispunten snel kan oplossen. We beperken ons daarbij tot starre, zuiver periodieke, verkeerslichtensequenties. Het systeem doorloopt een vaste cyclus met één groenfaze en één roodfaze voor elk licht (de geelfaze wordt bij de groenfaze gerekend). Het begin en het einde van een groenfaze worden respectievelijk een groentijdstip en een roodtijdstip genoemd. Deze tijdstippen zijn de variabelen in de wiskundige formulering. We willen de formulering hier toelichten aan de hand van een vrij willekeurig gekozen voorbeeld, waarvan de situatie in *fig. 1* is geschetst.

Uit de schets distilleren we een aantal *conflictparen*, d.z. lichten die elkaar kruisende verkeersstromen besturen, en een aantal *golfparen*, d.z. lichten die „in serie" staan. We stellen dan de volgende relaties op.

1) De golfrelaties. Voor elk golfpaar (p,q) heeft men twee lineaire ongelijkheden, waarin tot uitdrukking wordt gebracht dat een groenfaze van q een over de rijtijd verschoven groenfaze van p omvat. Golfparen in fig. 1 zijn b.v. (1,5), (4,5), (4,6). Voor het vaststellen van de „rijtijd" zijn natuurlijk bepaalde verkeerstechnische beschouwingen nodig, waarop we hier niet ingaan.

2) De conflictrelaties. Voor elk conflictpaar (j,k) heeft men twee lineaire ongelijkheden, die uitdrukken dat de door j en k doorgelaten stromen niet met elkaar in conflict komen; met andere woorden, een groenfaze van j ligt binnen een „verschoven" roodfaze van k, en omgekeerd. Conflictparen in fig. 1 zijn b.v. (1,3), (2,3), (2,4), (5,7).

Om de golfrelaties en conflictrelaties ondubbelzinnig te kunnen formuleren, is het nodig dat men van tevoren globaal overziet hoe de verkeersstromen elkaar afwisselen, op elkaar aansluiten en in elkaar passen, met andere woorden, dat men een zg. fazenindeling gemaakt heeft. Als (p,q) een golfpaar is, moet men b.v. van tevoren vastleggen of het door een gegeven groenfaze van p doorgelaten verkeer in de eerste daaropvolgende groenfaze van q terechtkomt, dan wel in de tweede, de derde, enz. Ook in de conflictrelaties treden veelvouden van de cyclustijd op, die door de fazenindeling vastgelegd worden.

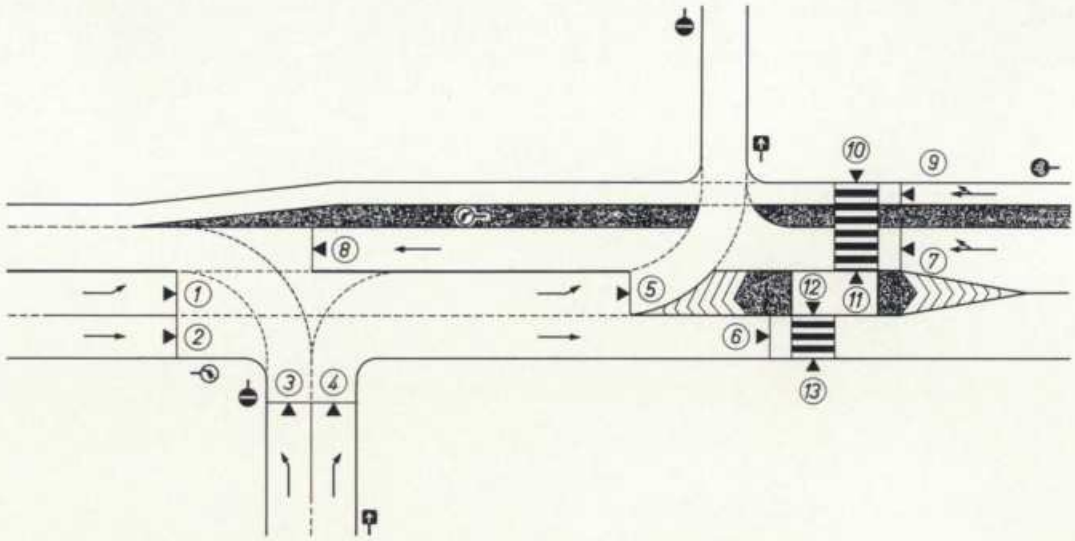

Fig. 1. Situatieschets van een (denkbeeldig) kruispunt, waarbij in totaal 13 verkeerslichten zijn geplaatst. Elk verkeerslicht is aangeduid door een driehoekje, geplaatst met de top midden op de bijbehorende stopstreep.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

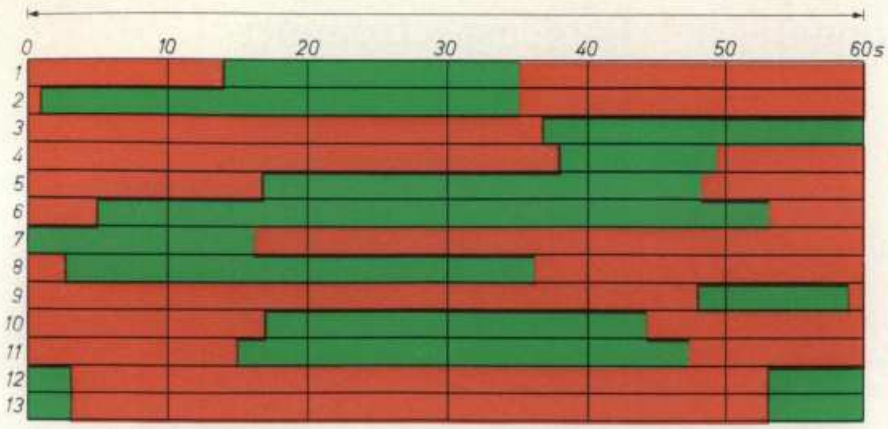

Fig. 2. Balkendiagram van een onder bepaalde condities berekende optimale verkeerslichtensequentie voor het kruispunt van fig. 1.

3) Een vanzelfsprekende voorwaarde is dat elke groentijd korter is dan de cyclustijd. Dit levert wederom voor elk verkeerslicht een relatie op.

4) Voor elk verkeerslicht is de groentijd niet kleiner dan een zekere, voor dat licht geldende, minimale waarde, die voor het hier behandelde probleem een extern gegeven is. Deze relatie moet waarborgen dat het aankomende verkeer redelijk verwerkt wordt. De minimale groentijd moet op grond van bepaalde criteria uit de verkeersintensiteit berekend worden.

In het algemeen zijn er vele oplossingen die aan dit stelsel relaties voldoen. Het wiskundige probleem luidt nu: vind onder de gegeven voorwaarden die oplossing waarbij de som van de groentijden binnen één cyclus maximaal is. Eventueel kan men in deze som elke groentijd van een gewicht voorzien, zodat de belangrijkste verkeersaders het zwaarst meetellen. Het probleem is daarmee herleid tot een zg. lineair programmeringsprobleem: het maximaal maken van een lineaire functie onder een aantal lineaire beperkingen [2].

Het rekenprogramma VERKEER is op deze formulering van het probleem gebaseerd. Aan de rekenmachine deelt men de gegevens betreffende het kruispunt mee, te weten de structuur (d.w.z. de conflict- en de golfparen) en de fazenindeling, en verder de rijtijden, de minimale groentijden, de gewichten van de groentijden en de cyclustijd. Het programma bestaat uit twee delen: het eerste deel genereert uit de gegevens de ongelijkheden voor het lineaire programmeringsprobleem; het tweede deel lost dit probleem op. De oplossing wordt gegeven in de vorm van een balkendiagram.

De op deze wijze gevonden optimale lichtensequentie voor de verkeerssituatie van fig. 1 is in *fig. 2* weergegeven. Het kruispunt van fig. 1 bevat 14 conflictparen, die alle in rekening zijn gebracht, en 7 golfparen, waarvan er twee buiten beschouwing zijn gelaten, nl. (10,12) en (13,11). Het lineaire programmeringsprobleem heeft dus in dit geval 26 variabelen (nl. een groen- en een roodtijdstip voor ieder verkeerslicht) en 64 lineaire ongelijkheden, te weten:

13 lichten	→	26	ongelijkheden
14 conflictparen	→	28	,,
5 golfparen	→	10	,,
		64	,,

Hieruit blijkt wel dat men zelfs in betrekkelijk eenvoudige verkeerssituaties al spoedig op een gecompliceerd probleem kan stuiten, vooral als men de consequenties van de keuze van verschillende cyclustijden en verschillende fazenindelingen wil analyseren.

Met het hier vermelde rekenprogramma — dat we natuurlijk niet in detail kunnen bespreken — kan men deze analyse ook voor ingewikkelde kruispunten (of samenstellen van kruispunten) snel uitvoeren. Het totale aantal verkeerslichten mag daarbij maximaal 100 bedragen. De in fig. 2 weergegeven oplossing van het probleem voor het, nog relatief eenvoudige, verkeersknooppunt van fig. 1 vereiste op de rekenmachine CD 3600 een rekentijd van ongeveer 20 seconden [3].

A. J. Dekkers
A. van Duuren
F. A. Lootsma
J. Vlietstra

[1] Men spreekt vaak van „verkeerslichtenprogramma", een term die ons in dit verband minder gelukkig lijkt.

[2] Over lineaire programmering, zie b.v. S. I. Gass, Linear programming, methods and applications, McGraw-Hill, New York 1958. — Lineaire programmeringsproblemen zijn al enige keren in dit tijdschrift besproken: H. W. van den Meerendonk en J. H. Schouten, De snijverliezen bij de fabricage van golfkarton, Philips techn. T. **24**, 121-129, 1962; W. F. Schalkwijk, Operations research, Philips techn. T. **25**, 65-74, 1963.

[3] Een uitvoeriger bespreking van het hier besproken lineaire programmeringsprobleem wordt binnenkort elders gepubliceerd.

A. J. Dekkers, ir. A. van Duuren, drs. F. A. Lootsma en J. Vlietstra zijn medewerkers van Philips' Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven, werkzaam in het Philips Rekencentrum.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een automatische röntgenspectrometer

S. A. Wytzes

543.422.8

Kwalitatieve en kwantitatieve analyse van materiaalmonsters door middel van de emissiespectra in het röntgengebied wordt thans veelvuldig toegepast. De ontwikkeling van de hiervoor geconstrueerde apparaten is zo ver voortgeschreden dat men beschikt over installaties die geheel automatisch een aantal monsters kunnen analyseren. Een dergelijke automatische spectrometer is het onderwerp van dit artikel.

Spectrochemische analyse met behulp van röntgenstralen wordt heden ten dage veel gebruikt om de concentratie van één of meer elementen in een materiaalmonster te bepalen. De grondslagen van deze methode van analyseren zijn een tiental jaren geleden in dit tijdschrift uiteengezet [1]. Het onderwerp van het huidige artikel is de sinds die tijd voortgeschreden ontwikkeling van de apparatuur; thans worden geheel automatisch werkende röntgenspectrometers gefabriceerd, waarvan de bediening zo eenvoudig is dat deze kan geschieden door vrijwel ongeschoold personeel. Een dergelijk apparaat is de door Philips' Hoofdindustriegroep Produkten voor Industriële Toepassing vervaardigde spectrometer, type PW 1212 (*fig. 1*), waarvan we de constructie en een aantal interessante eigenschappen hier willen bespreken.

Het toestel wordt toegepast in vele takken van de industrie. Wij noemen als voorbeelden cementfabrieken, metaalgieterijen en hoogovens, waar deze snelle manier van analyseren wordt gebruikt zowel voor het controleren van produkten als voor het onderzoek van afvalstoffen, zoals slakken.

Voorafgaande aan de beschrijving van de apparatuur recapituleren wij in het kort de principes waarop de werking van een röntgenspectrometer berust.

Spectrochemische analyse met röntgenstralen

Het licht dat door een stof bij verhitten of verbranden wordt uitgezonden, wordt al zeer lang gebruikt voor het identificeren van de elementen waaruit de stof bestaat. Op analoge wijze kan men in plaats van licht de *röntgenstralen* gebruiken die door een stof worden uitgezonden wanneer deze wordt gebombardeerd met snelle elektronen ofwel met een röntgenbundel wordt bestraald. Tegenwoordig wordt algemeen de tweede excitatiemethode toegepast. Wegens de analogie met het optische geval spreekt men hierbij van *fluorescentie* en wordt deze methode van analyseren vaak aangeduid als *röntgenfluorescentieanalyse*.

In tegenstelling tot het lichtspectrum is het karakteristieke emissiespectrum van een element in het röntgengebied zeer eenvoudig. Bij de lichtere elementen bestaat het slechts uit twee lijnen, de Kα-lijn en de Kβ-lijn. Bij de zwaardere elementen komen daarnaast de L-lijnen en eventueel de M-lijnen voor.

Door deze eenvoud van het röntgenspectrum is het hieruit identificeren van een element vrij eenvoudig. De golflengte λ van de emissielijnen hangt van het atoomnummer Z af volgens de wet van Moseley, die zegt dat er voor elke soort lijn, b.v. Kα, een lineair verband bestaat tussen $\sqrt{1/\lambda}$ en Z. De intensiteit van een bepaalde lijn is een maat voor de concentratie van het element dat deze lijn uitzendt, en door deze intensiteit te meten kan men de concentratie van dit element in een materiaalmonster bepalen. Voor de lichtere elementen maakt men meestal gebruik van de Kα-lijn; bij de zwaardere elementen kiest men doorgaans een L-lijn.

Behalve de eenvoud der spectra heeft de analyse met röntgenstralen ten opzichte van die met licht nog enkele andere voordelen. Een hiervan is het feit dat de te analyseren stof niet verhit of verbrand behoeft te worden: de methode is *niet-destructief*. Dit is vooral van belang omdat de standaardpreparaten, waarmee de te onderzoeken monsters zowel bij de optische als bij de röntgenmethode worden vergeleken (zie hierover later), intact blijven. Verder is röntgenanalyse in het algemeen nauwkeuriger dan de optische spectraalanalyse, terwijl met de eerstgenoemde methode ook een groter concentratiegebied bestreken kan worden. Ten slotte vermelden wij nog dat optisch de concentratie van bepaalde elementen moeilijk te meten is. Met röntgenanalyse levert dit geen bezwaren op. Een beperking van de röntgenanalyse is dat men niet goed elementen lichter dan natrium kan meten.

Dr. S. A. Wytzes is medewerker van Philips' Hoofdindustriegroep Produkten voor Industriële Toepassing, Ontwerpgroep Wetenschappelijke Apparaten, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

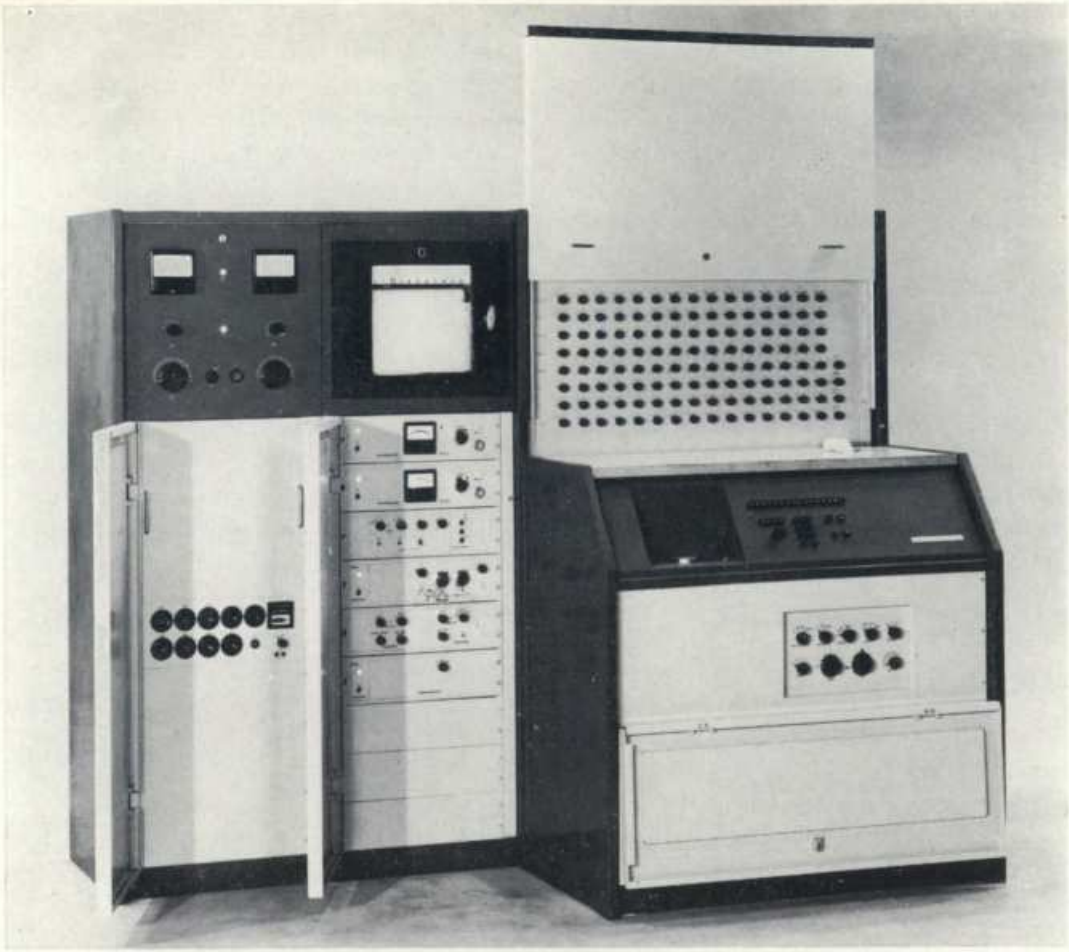

Fig. 1. Vooraanzicht van de automatische röntgenspectrometer, type PW 1212. In de linkerkast bevinden zich de onderdelen waarmee de spanning op de röntgenbuis en de buisstroom worden gestabiliseerd. De kast daarnaast bevat de elektronische apparaten voor het tellen van de röntgenquanta. Het achterste gedeelte van de rechterkast levert de hoogspanning voor de röntgenbuis; hierin zijn ook de elektronische apparaten geplaatst die dienen voor het automatisch afwerken van meetprogramma's. In het voorste gedeelte van de laatstgenoemde kast is het eigenlijke meetgedeelte geplaatst, waarvan fig. 3 een aantal details toont.

Principe van de spectrometer

In *fig. 2* is het principe van een röntgenspectrometer geschetst. Door de straling van de röntgenbuis worden de atomen van het te onderzoeken materiaalmonster aangeslagen. De secundaire röntgenstraling die dit materiaal dan uitzendt, wordt naar golflengte geanalyseerd. Hiertoe selecteert men uit deze stralen, die willekeurige richtingen hebben, een evenwijdige bundel met behulp van een *collimator*. De bundel laat men vallen op het *analysekristal*, een monokristal waarbij een bepaald sterk reflecterend roostervlak evenwijdig gelegen is aan het oppervlak. De röntgenbundel wordt door dit kristal als het ware spiegelend gereflecteerd, doch alleen wanneer de invalshoek Θ voldoet aan de voorwaarde van Bragg:

$$2d \sin \Theta = n \lambda \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Hierin is n een geheel getal (de orde van de reflexie) en d de onderlinge afstand van de roostervlakken. Bij vaste waarden van n en d zijn dus de waarden van Θ waarbij reflexie optreedt, een maat voor de golflengten λ, en hierdoor vormen deze waarden een indicatie

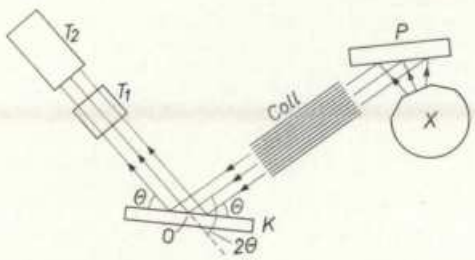

Fig. 2. Opstelling voor een röntgenspectrometer, schematisch. X kop van de röntgenbuis, P te onderzoeken monster, dat bij bestraling zijn karakteristieke röntgenstraling uitzendt (fluorescentie). *Coll* collimator. K analysekristal. T_1 doorstroomteller. T_2 scintillatieteller. Het kristal en de beide tellers zijn op de armen van een goniometer bevestigd, die kunnen draaien om de as O.

[1] W. Parrish, Spectrochemische analyse met röntgenstralen, Philips techn. T. **17**, 361-380, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voor de aanwezigheid van het desbetreffende element in het monster. De sterkte van de straling is dan tevens een maat voor de concentratie van dit element. (Een en ander geheel onafhankelijk van de chemische verbinding waarin het element in het monster voorkomt.)

Om de sterkte van de straling van een bepaalde golflengte te kunnen meten, wordt het kristal gedraaid tot aan de formule van Bragg is voldaan (instelling op Θ). De gereflecteerde straling wordt gemeten met een detector die om dezelfde as wordt gedraaid (instelling op de hoek 2Θ) en die het aantal invallende röntgenquanta als afzonderlijke impulsen telt. De impulsdichtheid (het aantal quanta dat in een bepaalde tijd wordt geteld) is nu een maat voor de concentratie van het element dat stralen van de desbetreffende golflengte uitzendt.

tionele telbuis waarbij tijdens de meting een bepaalde gasstroom door de buis vloeit, en een *scintillatieteller*. De eerstgenoemde teller is gevoelig voor langgolvige, zachte stralen, terwijl de tweede in hoofdzaak harde stralen detecteert. De doorstroomteller heeft behalve het normale venster, waardoor de stralen binnentreden, ook een uittreevenster, waarachter de scintillatieteller is geplaatst. De harde stralen, die in de doorstroomteller niet worden geabsorbeerd, vallen zodoende op de scintillatieteller. Naar verkiezing kan men één der tellers ofwel beide gemeenschappelijk gebruiken. We komen hierop nog terug.

De lichtste elementen, waarvan de straling zo zacht is dat de atmosfeer deze reeds merkbaar absorbeert, kan men slechts in vacuüm meten. Derhalve worden de kop van de röntgenbuis, het materiaalmonster, de collimator, het analysekristal en de doorstroomteller

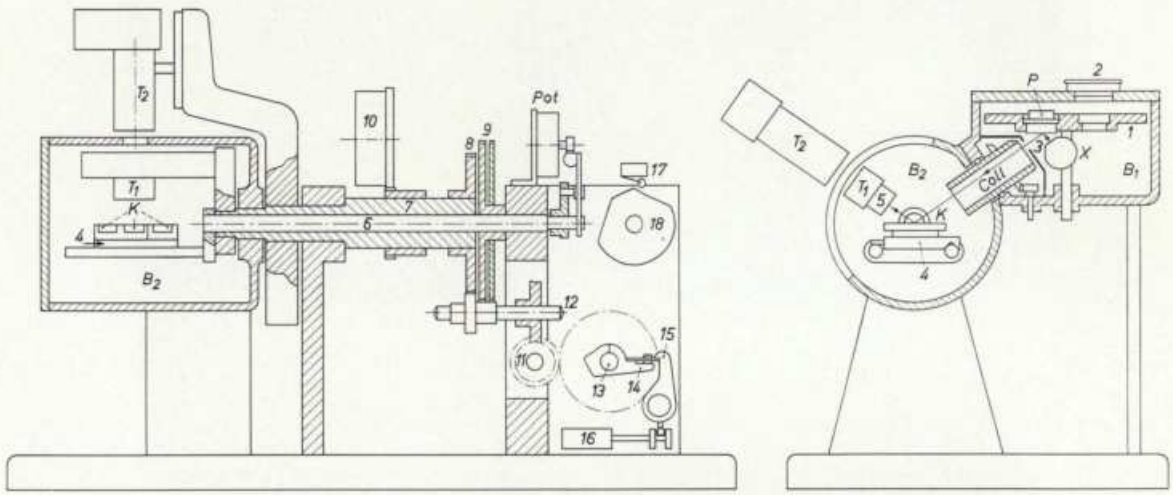

Fig. 3. Constructie van het meetgedeelte van de spectrometer. *X* kop van de röntgenbuis. *P* te onderzoeken monster. *Coll* collimator, bestaande uit een grof en een fijn gedeelte. *K* analysekristallen. T_1 doorstroomteller. T_2 scintillatieteller. B_1 monsterkamer. B_2 kristalkamer. *1* carrousel, waarop plaats is voor vier bakjes met materiaalmonsters, die door de vulopening *2* naar binnen gebracht kunnen worden. Het diafragma *3* laat de röntgenfluorescentiebundel tot het fijne of het grove gedeelte van de collimator toe. *4* slede met drie analysekristallen. *5* grove collimator. Het mechanisme van de goniometer bestaat in hoofdzaak uit de centrale as *6* en de holle as *7*, waaraan de slede voor de analysekristallen en de tellers met armen zijn bevestigd. De assen worden bewogen door de tandwielen *8*, resp. *9*; het laatste bestaat uit twee met veren uit elkaar gedrukte delen om de speling te elimineren. Voor ditzelfde doel is op de holle as een veer *10* aangebracht. De goniometer wordt bewogen vanuit de wormas *11* via de as *12*. Het mechanisme waarmee de goniometer op de plaatsen van de spectrumlijnen tot stilstand wordt gebracht, bevat een as *13*, waarop zich 24 remarmen (*14*) bevinden; deze kunnen in elke gewenste stand op de as worden vastgezet. Tegenover elke remarm staat een magneetarm *15*, die kan worden bewogen door een elektromagneet *16*. Deze magneet wordt bekrachtigd wanneer een ermee corresponderende schakelaar *17* wordt gesloten door de schakelwals *18*. *Pot* potentiometer met behulp waarvan de hoogte van de impulsen wordt vermenigvuldigd met sin Θ (zie ook fig. 10 en fig. 11).

Om zoveel mogelijk elementen te kunnen meten, is een detector nodig die gevoelig is in een groot golflengtegebied. Het is niet mogelijk gebleken aan de eisen die in dit opzicht worden gesteld, te voldoen met één enkele detector. Om deze reden is in ons toestel een combinatie van twee detectors toegepast: een *doorstroomteller* (flow counter), d.i. een proportionele telbuis waarbij tijdens de meting een bepaalde gasstroom door de buis vloeit, en een *scintillatieteller*, die alleen de kortgolvige straling detecteert, bevindt zich buiten deze ruimte.

Aan het te onderzoeken monster wordt alleen de eis gesteld dat de te bestralen zijde vlak is. Het kan een legering, een aangedrukt poeder, een geperst tablet, een afgekoelde smelt of een oplossing zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Beschrijving van de installatie

Fig. 3 is een schets van het eigenlijke meetgedeelte De ruimte die geëvacueerd kan worden, bestaat uit twee gedeelten, de monsterkamer B_1 en de kristalkamer B_2. In de eerstgenoemde ruimte bevindt zich de kop van de röntgenbuis en een carrousel, waarop plaats is voor vier bakjes die materiaalmonsters bevatten. Voor het plaatsen van de bakjes op de carrousel is een vulopening aanwezig, die vacuümdicht kan worden afgesloten. *Fig. 4* toont het inbrengen van een monsterbakje. Door middel van een (niet getekende) motor kan de carrousel worden gedraaid, zodat achtereenvolgens de vier monsters in de röntgenbundel komen. Tijdens de meting draait het bakje om zijn eigen as, zodat de gemeten gemiddelde intensiteit van de fluorescentiestraling niet wordt beinvloed door onregelmatigheden in het oppervlak (b.v. door bewerkingsgroeven wanneer het oppervlak is geslepen).

De carrousel maakt het mogelijk vier monsters te onderzoeken alvorens de vulopening weer moet worden geopend en de ruimte opnieuw geëvacueerd. Het achtereenvolgens in de röntgenbundel brengen en analyseren van de monsters gebeurt automatisch volgens een in te stellen programma.

Tussen de vacuümruimten B_1 en B_2 bevindt zich de collimatorhouder. Hierin zijn twee collimators geplaatst, ieder bestaande uit een reeks dunne evenwijdige plaatjes; bij de ene is de plaatafstand 0,15 mm, bij de andere 0,45 mm. Door de houder te draaien, kan men of de ene of de andere collimator in de stralenbundel brengen die door het diafragma *3* wordt doorgelaten. Op de reden voor het aanbrengen van twee collimators komen wij hieronder terug.

In de kristalkamer (*fig. 5*) bevindt zich een slede met drie analysekristallen, die naar verkiezing in de uit de collimator tredende röntgenbundel kunnen worden gebracht. Ook hiervoor is een motor aanwezig. Elk kristal kan men vooraf ten opzichte van de slede instellen, zodat de reflecterende roostervlakken van de verschillende kristallen nauwkeurig onderling evenwijdig geplaatst kunnen worden. Ook op de reden waarom drie verwisselbare analysekristallen zijn aangebracht, komen wij nog terug.

In de kristalkamer bevindt zich verder nog de doorstroomteller. Vóór deze teller is een grove collimator geplaatst. In de wand van de kristalkamer is een venster van mylar aangebracht, waarachter de scintillatieteller is bevestigd.

Het mechanisme waarmee het analysekristal en de detector zodanig worden bewogen dat de hoekverdraaiingen zich verhouden als 1 : 2, de *goniometer*, is in fig. 3 te zien en in het onderschrift toegelicht.

Fig. 4. Het inbrengen van een monsterbakje in de monsterkamer.

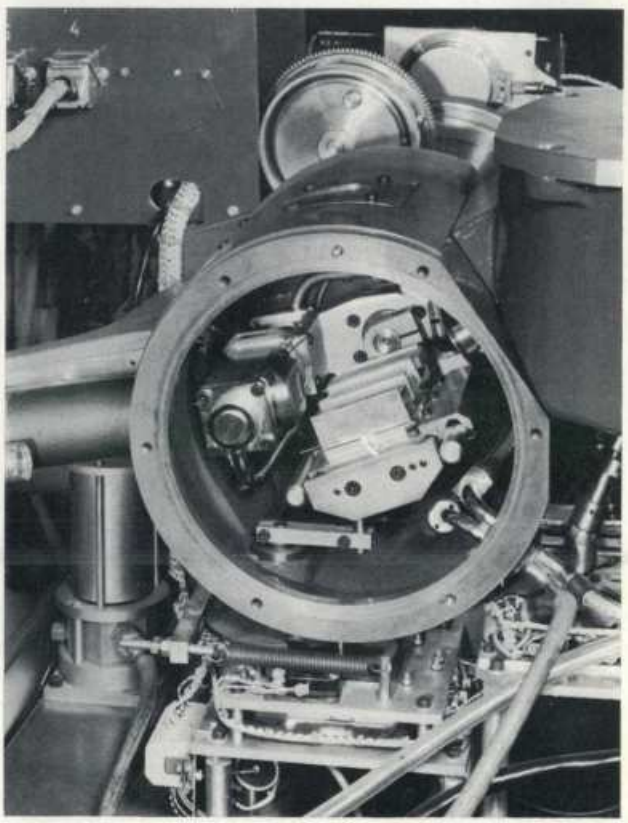

Fig. 5. De kristalkamer met geopende zijwand. Men ziet de slede met de analysekristallen en de doorstroomteller.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Eén omwenteling van de wormas *11* veroorzaakt een draaiing van de detector van 1° (dus van het kristal van ½°). Dit aandrijfsysteem kan de goniometer bewegen met een constante snelheid, die met behulp van een tandwielkastje kan worden ingesteld op 4°, 1° of ¼°(2Θ) per minuut. Op deze wijze kan men het gehele spectrum van een materiaalmonster met redelijke snelheid aftasten, wat wel wordt gedaan ter eerste oriëntatie omtrent de in het monster voorkomende elementen. Voor een nauwkeurige bepaling van het gehalte aan bepaalde elementen gaat men anders te werk: men laat de goniometer snel naar een van te voren vastgestelde hoek lopen die correspondeert met een te meten spectrumlijn. Hier komt hij tot stilstand, waarna de meting plaatsvindt. Daarna loopt de goniometer snel naar de stand die correspondeert met een andere spectrumlijn, om ook hier weer tot stilstand te komen, enz.

Voor het snel bewegen van de goniometer wordt een andere motor ingeschakeld; de snelheid is dan 214°(2Θ) per minuut. Het mechanisme waarmee de goniometer in verschillende standen tot stilstand wordt gebracht, is eveneens in fig. 3 schematisch aangegeven. De as *11* drijft, behalve de goniometer, ook de as *13* aan. Op deze as bevinden zich 24 remarmen, die in elke gewenste stand op de as kunnen worden vastgezet. (Een dezer armen, *14*, is getekend.) Tegenover elke remarm staat een magneetarm, die kan worden bewogen door een elektromagneet. *Fig. 6* toont dit mechanisme. Ongeveer 1°(2Θ) voordat de goniometer moet stoppen, wordt door de schakelwals *18* een schakelaar *17* gesloten. Hierdoor wordt de snelheid gereduceerd tot 52° per minuut en tegelijkertijd wordt een der magneetarmen *15* in een zodanige stand gebracht dat de haakvormige top hiervan de ermee corresponderende remarm na nog 1° draaien tegenhoudt. De goniometer is dan geblokkeerd. Doordat een wrijvingskoppeling is aangebracht, kan de motor blijven doorlopen. Is de meting van de desbetreffende spectrumlijn geschied, dan wordt het circuit van de ingeschakelde magneet onderbroken en kan de goniometer naar de volgende meetstand lopen, enz. De goniometer kan dus met behulp van dit mechanisme in 24 nauwkeurig vastgelegde standen tot stilstand komen; 15 hiervan kan men in een automatisch af te werken programma opnemen. Zodoende kan men ieder van de vier op de carrousel aanwezige monsters automatisch analyseren op hun gehalte aan 15 verschillende elementen.

Het is niet noodzakelijk de posities waarin de goniometer moet stoppen met opklimmende hoekwaarden te kiezen. Door een speciaal mechanisme kan de goniometer ook automatisch teruglopen. Hierbij zou het gevaar kunnen bestaan dat de stand waarin de goniometer voor het meten van een bepaalde spectrumlijn tot stilstand komt, bij de beide bewegingsrichtingen niet dezelfde zou zijn. Het feit dat de speling in het mechanisme door veren is geëlimineerd, impliceert nl. niet dat er geen dode gang kan optreden. Deze kan ook nog worden veroorzaakt door elastische vervorming en door wrijving. Om deze reden is de schakeling zodanig uitgevoerd dat de goniometer alvorens na een teruggaande beweging te stoppen, eerst weer een kleine voorwaartse beweging uitvoert.

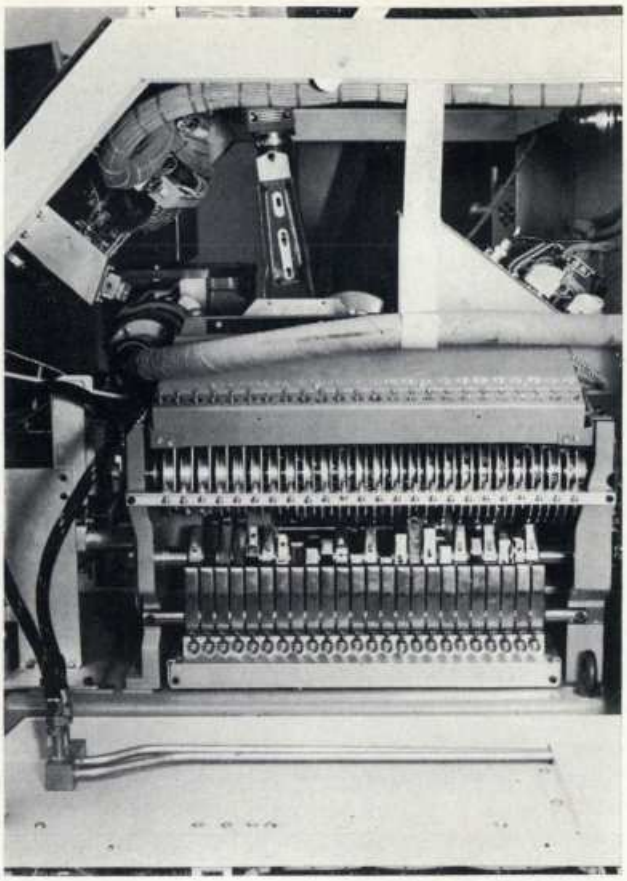

Fig. 6. Het mechanisme waarmee de goniometer in 24 vaste standen tot stilstand kan worden gebracht. Het bevat aan de onderzijde 24 remarmen met bijbehorende magneetarmen. Hierboven bevindt zich een schakelwals (zie ook fig. 3).

Hiervoor is aan elk van de 24 schijven van de schakelwals een tweede schijf bevestigd, die een andere schakelaar sluit, en wel 2° voorbij het punt waar de eerste schakelaar wordt gesloten (dus 1° voorbij de desbetreffende meetstand). Zijn de *beide* met een bepaalde meetstand corresponderende schakelaars gesloten, dan loopt de goniometer achteruit. Moet nu b.v. de goniometer stoppen bij 10°, komende van een hoek groter dan 11°, dan wordt, als bij het teruglopen de stand 11° wordt gepasseerd, één der schakelaars geopend en het mechanisme weer op vooruitlopen geschakeld. Dit gebeurt echter niet onmiddellijk; doordat een vertragingsschakeling is aangebracht (een condensator parallel met het desbetreffende relais), blijft de goniometer nog over 2° à 3° teruglopen. Bij ongeveer 8° à 9° keert dan de beweging om, waarna de goniometer op de normale wijze bij 10° stopt.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De nauwkeurigheid van de goniometer

Bij het instellen van de goniometer draait men met de hand de wormas *11* tot men de topintensiteit van de gewenste spectrumlijn heeft gevonden. In de stand die de goniometer dan heeft, zet men de remarm *14* vast. Het is daarbij niet in de eerste plaats van belang dat de hoek 2Θ die men in deze stand op de goniometer afleest, nauwkeurig overeenkomt met de hoek die men voor elk kristal in een tabel kan vinden. Wel is nodig dat de goniometer voortaan bij het meten van het desbetreffende element nauwkeurig op de ingestelde hoek terugkomt. Een indruk van de nauwkeurigheid die daarbij nodig is, kan men krijgen door het profiel van een normale spectrumlijn te meten. Het blijkt dan dat een afwijking van het kristal van 0,005° ten opzichte van de stand waarbij de reflexie maximaal is, een vermindering van de gemeten intensiteit van 0,6% geeft [2]. Wil men dus bij automatische intensiteitsmetingen door afwijkingen in de goniometer geen grotere fout dan 0,6% laten ontstaan, dan moet iedere instelling van het kristal met een nauwkeurigheid van 0,005° reproduceerbaar zijn. Bij verhoudingsmetingen (zie hierover later) is de instelling van de goniometer veel minder kritisch. Daarbij kan men dan ook een grotere nauwkeurigheid bereiken. Door het toepassen van veren, het gebruik van zo stijf mogelijke onderdelen en het klein houden van de wrijving kon de dode gang kleiner dan 0,003° worden gehouden. Doordat de goniometer altijd stopt, komende uit dezelfde richting, is de in werkelijkheid optredende onreproduceerbaarheid in de hoekinstelling nog kleiner. Hierbij moet nog opgemerkt worden dat ook een fout kan ontstaan door de onreproduceerbaarheid in de stand van de collimator en van de slede met de analysekristallen. Deze fouten konden beide kleiner dan 0,001° worden gehouden.

De keuze van het kristal

Voor kortgolvige straling, dus bij relatief zware elementen, moet het analysekristal een kleine roostervlakkenafstand d hebben. Anders wordt de hoek Θ, en derhalve ook $d\Theta/d\lambda$, zeer klein, waardoor de spectrumlijnen zo dicht bij elkaar liggen dat het scheidend vermogen onvoldoende is. Voor langgolvige straling (lichte elementen) echter is een grote waarde van d gewenst, omdat anders de afbuigingshoek 2Θ groter kan worden dan de hoek waarover de detector gedraaid kan worden; is de roostervlakkenafstand kleiner dan de halve golflengte, dan treedt, blijkens de formule van Bragg, zelfs in het geheel geen reflexie op.

Men moet dus de keuze van het analysekristal aanpassen aan de golflengte van de fluorescentiestraling van het element waarop het onderzoek is gericht.

Bij de hier beschreven automatische spectrometer heeft men keuze uit zeven analysekristallen. Zij bestaan uit gips, ammoniumdihydrofosfaat (ADP), pentaerythritol (PE), ethyleendiamine d-tartraat (EDDT), kwarts, lithiumfluoride (LiF) en topaas. De analysekristallen zijn hier genoemd in de volgorde van dalende waarden van d. In onderstaande *tabel I* zijn deze waarden vermeld; tevens is voor enkele elementen de golflengte van de Kα-lijn aangegeven, alsmede de afbuighoek 2Θ die bij de eerste-orde-reflexie voor deze lijn met de verschillende analysekristallen wordt verkregen.

Tabel I. Afbuigingshoek 2Θ (in graden) voor de Kα-straling van een reeks elementen bij gebruik van zeven verschillende analysekristallen (met verschillende roostervlakkenafstand d).

Element ($\lambda_{K\alpha}$ in nm)		Kristal (d in nm)	gips 0,7593	ADP 0,5324	PE 0,4371	EDDT 0,4404	kwarts 0,3343	LiF 0,2014	topaas 0,1356
Na	1,191		103,3	—	—	—	—	—	—
Mg	0,990		81,3	136,6	—	—	—	—	—
Al	0,834		66,6	103,7	145,1	142,5	—	—	—
Si	0,713		56,0	84,0	109,2	108,0	—	—	—
P	0,616		47,8	70,6	89,5	88,7	134,0	—	—
S	0,537		41,4	60,6	75,9	75,2	106,9	—	—
Cl	0,473		36,3	52,7	65,5	64,9	90,0	—	—
K	0,374		28,5	41,2	50,7	50,1	68,3	136,7	—
Ca	0,336		25,6	36,8	45,2	44,8	60,3	113,1	—
Ti	0,275		20,0	29,9	36,7	36,4	48,6	86,1	—
Fe	0,194		14,6	21,0	25,6	25,4	33,7	57,5	91,2
Cu	0,154		11,6	16,6	20,3	20,1	26,7	45,0	69,3

Men zou zich kunnen afvragen waarom een zo betrekkelijk groot aantal kristallen beschikbaar is en of men niet met de beide uiterste, gips en topaas, zou kunnen volstaan. Dit zou inderdaad wat de afbuighoeken betreft wel kunnen, maar een bezwaar hiertegen is dat men dan niet onder alle omstandigheden een zo groot mogelijke intensiteit van de spectrumlijnen verkrijgt. Het reflexievermogen van de verschillende kristallen loopt nl. sterk uiteen. Zo is b.v. van PE het reflexievermogen veel groter dan van EDDT. Van deze beide kristallen, die wegens de vrijwel gelijke waarden van d in vele opzichten gelijkwaardig zijn, zal men dus het eerstgenoemde kiezen als men een zo groot mogelijke gevoeligheid wenst, dus een element wil meten dat slechts in geringe hoeveelheid in het monster voorkomt. Het tweede echter zal men in sommige gevallen moeten kiezen op grond van een andere overweging, nl. betreffende

[2] Het lijnprofiel hangt enigszins van de collimator en van het analysekristal af. De hier gegeven cijfers gelden voor de fijne collimator en een lithiumfluoridekristal.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de thermische uitzetting. Bij een verandering van de temperatuur ontstaat door de uitzetting in de richting loodrecht op de reflecterende roostervlakken een verandering van d, wat een verplaatsing van de spectrumlijnen tot gevolg heeft. Nu loopt de lineaire uitzettingscoëfficiënt in de richting loodrecht op het gebruikte roostervlakkenstel sterk uiteen. Voor PE is deze het grootst en voor topaas het kleinst. Hierdoor is het niet in alle gevallen mogelijk PE te gebruiken.

De verschuiving die een spectrumlijn bij een bepaalde verandering van d ondergaat, hangt ook af van de grootte van de invalshoek Θ. Uit de formule van Bragg volgt nl.:

$$\Delta(2\Theta) = -2\frac{\Delta d}{d}\,\mathrm{tg}\Theta\,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Bij grotere waarden van Θ hangt dus $\Delta(2\Theta)$ sterker af van Δd. Met behulp van (2) en de gemeten waarden van de desbetreffende lineaire uitzettingscoëfficiënt van de verschillende kristallen zijn de krommen van *fig. 7* berekend. We zien hieruit b.v. dat wanneer aluminium met PE gemeten wordt ($2\Theta = 145{,}1°$), een temperatuurverandering van 1° reeds een afwijking van de afbuighoek 2Θ veroorzaakt van 0,045°. De grotere gevoeligheid die men met PE verkrijgt, gaat dus samen met een vermindering van de nauwkeurigheid.

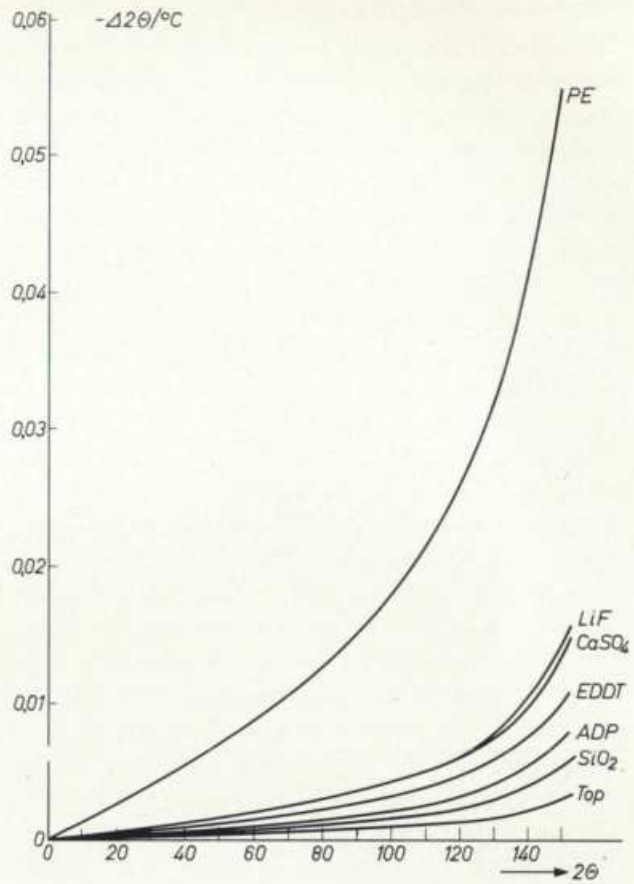

Fig. 7. Verschuiving $\Delta 2\Theta$ van de spectrumlijnen bij 1 graad temperatuurverandering van het analysekristal als functie van de totale afbuigingshoek 2Θ, voor de zeven kristallen die in de beschreven spectrometer ter beschikking staan.

De keuze van de collimator

Een analysekristal is niet volkomen regelmatig; het gedraagt zich als een mozaïek van kleine blokjes, die ten opzichte van elkaar een iets verschillende oriëntatie hebben. Daardoor wordt niet alleen de straling gereflecteerd die onder een bepaalde hoek Θ met het oppervlak invalt, maar ook straling met een iets afwijkende invalshoek, $\Theta + \alpha$. Voor een goed kristal neemt het reflexievermogen I snel af met toenemende waarde van $|\alpha|$. In *fig. 8a* is I als functie van α kwalitatief weergegeven.

Denken we ons de collimator zo geplaatst dat de plaatjes een hoek Θ met het oppervlak van het kristal maken, dan wordt de straling met deze invalshoek volledig doorgelaten, afgezien van een schaduwfactor ten gevolge van de dikte van de plaatjes. Voor straling met een invalshoek $\Theta \pm \alpha$ neemt de mate van doorlating D lineair af met α. Zij is nul geworden als $\alpha = \pm a/l$, waarbij a de afstand tussen de collimatorplaatjes is en l hun lengte. Ook D is als functie van α in fig. 8*a* getekend (gelijkbenige driehoek). De bijdrage die de straling met een afwijking tussen α en $\alpha + d\alpha$ van de Θ-richting levert aan de gereflecteerde straling is evenredig met het produkt van I en D. De totale gereflecteerde straling (de impulsdichtheid in de top van de spectrumlijn) is dus evenredig met $\int ID\mathrm{d}\alpha$.

Wordt het kristal over een hoek β gedraaid, dan verschuift de driehoek ten opzichte van de kromme I (fig. 8*b*); in dit geval wordt nl. de straling met de richting $\Theta + \beta$ volledig doorgelaten. De totale gereflecteerde straling zal hierbij sneller afnemen naar-

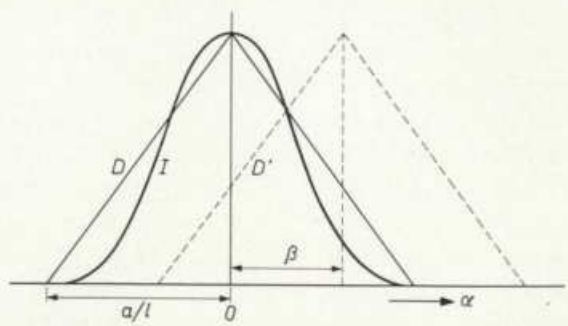

Fig. 8. Reflexievermogen I van een kristal als functie van de hoek α waarmee de invalshoek afwijkt van die waarbij optimale reflexie optreedt. De driehoek D geeft de mate van doorlating weer van een collimator als functie van de hoek tussen de richting van de plaatjes en die van de straling. a is de afstand en l de lengte van de plaatjes. Het produkt van I en D bepaalt het gemeten lijnprofiel. Wordt het kristal gedraaid over een hoek β, dan verschuift de driehoek D ten opzichte van de kromme I (D', gestippeld getekend).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

mate de driehoek smaller is. Het scheidend vermogen neemt dus bij smaller maken van de driehoek toe, maar de impulsdichtheid in de top van de spectrumlijn neemt af. De keuze van de collimator wordt nu bepaald door het compromis dat men zoeken moet tussen de vereiste duur van de metingen en het scheidend vermogen. Bij de zware elementen is de impulsdichtheid meestal groot, en daar de spectrumlijnen dicht bij elkaar liggen, is veelal een groot scheidend vermogen nodig. Voor deze elementen wordt de fijne collimator gebruikt, met $a = 0{,}15$ mm en $l = 95$ mm. Bij lichte elementen liggen de reflexiehoeken van de spectrumlijnen verder uiteen, doch de intensiteit van de straling is kleiner. Bij deze elementen is dan ook een grote impulsdichtheid van meer belang dan een groot scheidend vermogen; men gebruikt dus de grove collimator, met $a = 0{,}45$ mm. De impulsdichtheid is hierbij twee à drie maal zo groot als bij gebruik van de fijne collimator.

De collimator die zich voor de doorstroomteller bevindt (*5* in fig. 3) heeft een zo grote plaatafstand dat het gemeten lijnprofiel hierdoor vrijwel niet wordt beïnvloed. Het doel van deze collimator is tweeledig. Enerzijds wordt hierdoor ongewenste straling (achtergrond) voor een belangrijk deel tegengehouden en anderzijds voorkomt men hiermede dat bij kleine waarden van Θ een deel van de straling die uit de eerste collimator treedt direct de tellers treft.

Om in speciale gevallen een zeer groot scheidend vermogen te krijgen, plaatst men voor de scintillatieteller een tweede fijne collimator. De impulsdichtheid daalt hierdoor echter met een factor 3 à 4. Bovendien wordt door het aanbrengen van deze collimator de hierboven behandelde invloed van een verandering van de roostervlakkenafstand d met de temperatuur vergroot.

De keuze van de teller

Van de detectors die voor het meten van röntgenstraling worden gebruikt, zijn de meeste reeds geruime tijd geleden in dit tijdschrift behandeld [3]. We beperken ons daarom hier tot enkele belangrijke punten.

De *doorstroomteller* is een proportionele telbuis met argon (+ 10% methaan) als vulgas en met een zijvenster, dat, ter wille van een goede doorlating voor zachte röntgenstralen, van 6 μm dik mylar gemaakt is [4]. Doordat dit materiaal niet volkomen dicht is, zou het naar binnen diffunderen van zuurstof of waterdamp de teller spoedig onbruikbaar maken. Om deze verontreinigingen af te voeren, laat men het vulgas continu door de teller stromen. Deze stroom behoeft niet sterk te zijn, enkele liters per uur is voldoende.

De quanta die niet in de doorstroomteller worden geabsorbeerd, kunnen deze teller weer verlaten door een uittreevenster van berillium, passeren het venster in de wand van de kristalkamer (60 μm dik mylar) en vallen op de scintillatieteller. Deze bevat een natriumjodide-kristal, geactiveerd met 1% thallium, dat geplaatst is tegen het venster van een fotomultiplicatorbuis. Elk röntgenquantum dat in het NaI-kristal wordt geabsorbeerd, veroorzaakt hierin een lichtflitsje, waardoor een spanningsimpuls op de anode van de fotomultiplicatorbuis ontstaat.

Welke teller in een bepaald geval het best kan worden gebruikt, volgt uit een beschouwing van het rendement (de fractie van het op het venster van de teller vallende aantal quanta die wordt geteld).

Het rendement van een teller wordt gegeven door het produkt van twee fracties: het percentage van de opvallende quanta dat door het venster wordt doorgelaten en het percentage van de door het venster doorgelaten quanta dat in het telmedium geabsorbeerd wordt. *Fig. 9* geeft de rendementen van de tellers voor de Kα-straling van de verschillende chemische elementen [5]. Kromme *1* geldt voor de doorstroomteller; behalve voor de allerlichtste elementen dringt de straling hier steeds goed tot het telmedium door, maar hoe harder de straling, hoe meer deze ook (ongeteld) door het medium heengaat. Bij de scintillatieteller (kromme *2*) is de situatie anders: wat tot het medium doordringt, wordt wel steeds geabsorbeerd en volledig geteld, maar het intreevenster laat zachte straling niet goed door. Daar komt nog bij dat in onze opstelling de straling dit venster pas bereiken kan na doorlopen van de doorstroomteller en van het venster van de vacuümtrommel. Het rendement wordt daardoor over de hele linie verminderd, tot kromme *3*. Houden we ook nog rekening met het feit dat het venster van de scintillatieteller kleiner is dan dat van de doorstroomteller en verder van het kristal is verwijderd, dan moeten alle waarden van kromme *3* nog met een factor 0,55 worden vermenigvuldigd. Zo vindt men de kromme *4*.

Vergelijking van de krommen *1* en *4* toont aan dat voor elementen lichter dan koper de doorstroomteller de grootste gevoeligheid geeft en voor zwaardere elementen de scintillatieteller. Bij enkele middelzware elementen kan men de gevoeligheid aanzienlijk vergroten door beide tellers tegelijk te gebruiken.

---

[3] P. H. Dowling, C. F. Hendee, T. R. Kohler en W. Parrish, Telbuizen voor röntgenstralen, Philips techn. T. **18**, 264-279, 1956. Zie ook het onder [1] aangehaalde artikel.

[4] Het is ook mogelijk de teller te voorzien van een venster van slechts 1 μm dikte, waardoor de impulsdichtheid bij de lichtste elementen nog aanzienlijk stijgt. Deze vensters hebben echter een beperkte levensduur.

[5] Bij *K* treedt een absorptiekant op; zie voor een uiteenzetting hieromtrent de onder [3] genoemde artikelen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

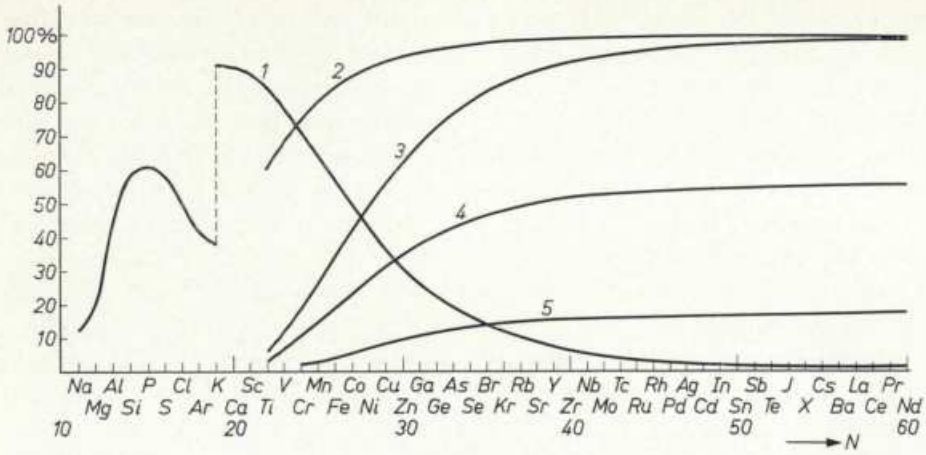

Fig. 9. Berekend rendement van de tellers voor de Kα-straling, als functie van het atoomnummer N. Kromme *1* geldt voor de doorstroomteller, *2* voor de scintillatieteller. Brengt men bij de laatstgenoemde teller de verzwakking door de ervoor geplaatste doorstroomteller en door het venster van de kristalkamer in rekening, dan vindt men kromme *3*. Wordt vervolgens het verschil in afstand van de tellers tot het kristal en het verschil in venstergrootte in rekening gebracht, dan ontstaat kromme *4*. (Kromme *5* geldt voor de scintillatieteller indien hiervoor, ter verkrijging van een zeer groot scheidend vermogen, een extra-collimator wordt geplaatst.)

In fig. 9 geeft de kromme *5* nog het rendement van de scintillatieteller wanneer hiervoor, ter wille van een zeer groot scheidend vermogen, de eerder genoemde tweede fijne collimator is geplaatst. Deze kromme werd uit kromme *4* afgeleid door weer een geometrische factor in rekening te brengen.

De impulshoogte-discriminator

Zowel bij de doorstroomteller als bij de scintillatieteller hangt de gemiddelde impulshoogte af van de energie (golflengte) van de quanta die de impulsen veroorzaken, en bij het meten van een bepaalde spectrumlijn hebben de te tellen impulsen dus alle vrijwel dezelfde hoogte. Derhalve kan men de invloed van storende impulsen (de achtergrond) in belangrijke mate verminderen door het toepassen van een impulshoogte-discriminator, die alleen die impulsen doorlaat waarvan de hoogte tussen twee dicht bij elkaar gelegen grenzen ligt. Een hierbij optredende complicatie is dat men bij elke golflengte, dus bij elk element, de grenzen opnieuw zou moeten kiezen. Bij de automatische spectrometer is echter een inrichting aangebracht die deze manipulatie overbodig maakt.

De energie van een quantum is omgekeerd evenredig met de golflengte. Daar de gemiddelde impulshoogte V_{gem} evenredig is met deze energie, kan men hiervoor met behulp van de formule van Bragg schrijven:

$$V_{gem} = C\frac{n}{d}\frac{1}{\sin\Theta}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

waarin C een constante is, die afhangt van de spanning op de teller. Als men nu bij elke stand van de goniometer en bij elk kristal de impulsen vermenigvuldigt met een factor $(d/n)\sin\Theta$, is $V_{gem} = C$. Men kan dan voor de discriminator twee vaste grenzen kiezen waarbinnen de impulsen geteld moeten worden.

Het vermenigvuldigen met $\sin\Theta$ gebeurt door de impulsen te leiden via een lineaire potentiometer, die zodanig met de goniometer is gekoppeld dat zijn hoekverdraaiïng evenredig is met $\sin\Theta$. In fig. 3 is deze potentiometer met *Pot* aangegeven. *Fig. 10* is een schets van het hiervoor gebruikte mechanisme.

De schakeling waarin deze potentiometer is opgenomen, is als blokschema in *fig. 11* getekend. De impulsen van de teller(s) T passeren een versterker A, die wordt gevolgd door een transistor in gemeenschappelijke collectorschakeling (emissorvolger). In serie met de potentiometer bevindt zich een weerstand R. Wanneer men overgaat op een ander kristal (andere waarde van d), of tot een reflexie van een andere orde (andere waarde van n), wordt automatisch een andere waarde van R ingeschakeld, zodanig dat $R_p'/(R_p + R + R_i)$ evenredig is met d/n. (Hierin is R_i de inwendige weerstand van de emissorvolger, R_p de weerstand van de potentiometer en R_p' het deel van de potentiometer dat door het sleepcontact zou zijn afgetakt bij $\sin\Theta = 1$.)

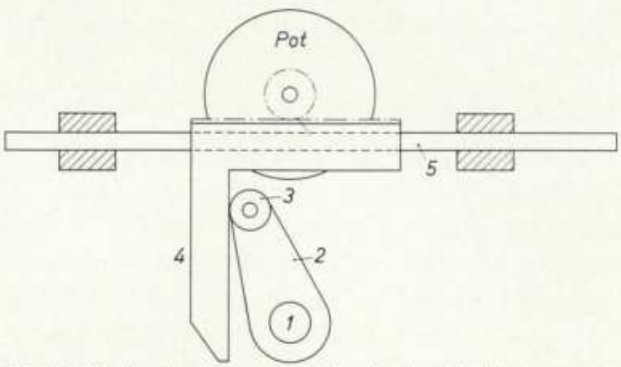

Fig. 10. Mechanisme waarmee de hoekverdraaiing van de potentiometer *Pot* in fig. 3 evenredig wordt gemaakt met $\sin\Theta$. *1* as van de kristalhouder. *2* arm. *3* kogellager. *4* beugel met tandheugel, bevestigd op de verschuifbare as *5*.

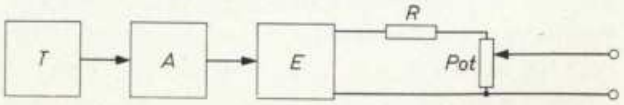

Fig. 11. Blokschema van de schakeling waarmee de hoogte van de impulsen constant wordt gehouden. *T* teller. *A* versterker. *E* emissorvolger. *R* omschakelbare weerstand. *Pot* potentiometer (zie ook fig. 3 en fig. 11).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In het apparaat zijn weerstanden R ingebouwd voor zes verschillende kristallen [6] en voor reflexie van de eerste en de tweede orde. (De weerstandswaarden zijn zodanig gekozen dat voor de reflexie van de eerste orde bij het kristal met de grootste waarde van d,d.i. gips, de weerstand R nul is.)

Een moeilijkheid ontstaat nog door het feit dat de impulshoogte van de doorstroomteller afhangt van de dichtheid van de gasvulling; een vergroting van de dichtheid met 1% geeft een verlaging van de hoogte van de impulsen met 6%. Doordat de grenzen waartussen de impulsen worden geteld, vastliggen, dreigt dan een fout in de telling te ontstaan. Om dit te voorkomen, is een regelaar aangebracht die de dichtheid van het door de teller stromende gas onafhankelijk maakt van de temperatuur en de barometerstand. De constructie van deze regelaar is schematisch in *fig. 12* weergegeven.

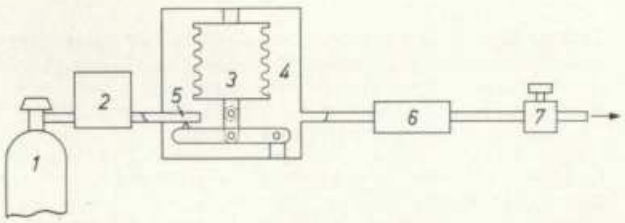

Fig. 12. Constructie van de regelaar waarmee de dichtheid van het gas in de doorstroomteller constant wordt gehouden. *1* gascilinder. *2* regelventiel afgesteld op 1,5 atmosfeer. *3* afgesloten metalen balg, waarin bij 15 °C een druk van 1,1 atmosfeer heerst. In de evenwichtstoestand heersen in de ruimte *4* dezelfde druk en temperatuur als in de balg. Bij uitzetting van de balg, ten gevolge van een temperatuurverandering of een drukvermindering in *4*, wordt de klep *5* geopend. *6* doorstroomteller. *7* naaldventiel. Doordat de uitzetting van de balg slechts zeer gering is, kan de dichtheid van het zich hierin bevindende gas als constant worden beschouwd. Hierdoor is ook de dichtheid van het vulgas in de ruimte *4* constant.

Absolute metingen en verhoudingsmetingen

De bepaling van het gehalte van een materiaalmonster aan een zeker element kan geschieden op twee manieren. Bij een *absolute meting* wordt bij een bepaalde spectrumlijn het aantal impulsen gedurende een zekere tijd geteld. Deze tijd wordt voldoende lang gekozen om de statistische fout klein genoeg te maken. De tijd die hiervoor nodig is, varieert ongeveer van 10 s tot 2 min. Als de achtergrond relatief sterk is, wordt ook een meting gedaan waarbij de goniometer niet op een spectrumlijn staat. Het verschil tussen de beide metingen is dan een maat voor de concentratie van het desbetreffende element. Voor elk element kan men een ijkkromme maken, waarin men de concentratie uitzet tegen het getelde aantal impulsen. Deze kromme is meestal vrijwel een rechte lijn.

Een bezwaar bij absolute metingen is dat hierbij, om reproduceerbare metingen te verkrijgen, zeer hoge eisen aan de nauwkeurigheid van de goniometer en aan de constantheid van de straling van de röntgenbuis worden gesteld. In veel mindere mate is dit het geval wanneer men *verhoudingsmetingen* uitvoert. Hierbij wordt een bepaald element eerst gemeten in een standaardpreparaat. Men kiest een bepaald aantal impulsen dat hierbij geteld moet worden. De hiervoor nodige tijd wordt in een elektronisch geheugen vastgelegd. Vervolgens wordt dit element gedurende dezelfde tijd in het onbekende monster gemeten. De verhouding van de aantallen getelde impulsen is gelijk aan de verhouding van de concentratie van het desbetreffende element in de standaard tot die in het onbekende monster. Daar op de carrousel voor de preparaten vier plaatsen beschikbaar zijn, waarvan er één door het standaardpreparaat wordt ingenomen, kan men op deze wijze na één meting aan het standaardpreparaat het gehalte aan het desbetreffende element in de drie onbekende monsters bepalen. Tussen deze metingen vindt geen nieuwe instelling van de goniometer plaats; de invloed van een fout in deze instelling is dus geëlimineerd. Als het kristal b.v. iets naast de juiste stand staat, heeft dit relatief dezelfde invloed op alle metingen, dus is de verhouding van de aantallen getelde impulsen hiervan in eerste instantie niet afhankelijk. Hetzelfde is het geval met een eventueel in de loop der tijd optredende verandering in het reflexievermogen van het analysekristal of in de intensiteit van de röntgenbundel. Met een verhoudingsmeting is dan ook een grotere nauwkeurigheid te bereiken dan met een absolute meting. De fout die kan optreden ten gevolge van onnauwkeurigheden in het instrument, kan bij absolute metingen op 0,5 tot 1% worden gesteld en bij verhoudingsmetingen op 0,1 tot 0,2%.

Een nadeel van verhoudingsmetingen is wel dat de meting langer duurt, door de tijd nodig voor het meten van de standaard. Hierbij komt bovendien een verlenging door de invloed van de statistiek: neemt men aan dat de statistische fouten in de getelde aantallen impulsen voor standaard en onbekend monster gelijk zijn, dan moet men, om de resulterende fout in de berekende concentratie niet groter te doen zijn dan bij een overeenkomstige absolute meting, bij ieder een twee maal zo groot aantal impulsen tellen. Als men één onbekend monster onderzoekt, wordt dus de totale meettijd bij een verhoudingsmeting vier maal zo groot als bij een absolute meting. Daar men bij het onderzoek van twee of drie onbekende monsters slechts éénmaal het standaardpreparaat meet, is het tijdverlies

[6] Voor PE en EDDT kunnen dezelfde weerstanden worden gebruikt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

per monster dan minder groot. Men ziet gemakkelijk in dat de verlenging van de meettijd bij twee monsters een factor 3, bij drie monsters een factor 8/3 bedraagt.

Veranderingen van de intensiteit van de röntgenbundel die zo snel optreden dat zij binnen de meettijd vallen, worden uiteraard ook bij verhoudingsmetingen niet gecompenseerd. De hoogspanning op de röntgenbuis en de buisstroom moeten daarom bij beide meetmethodes goed gestabiliseerd zijn. De hiervoor toegepaste schakelingen behoeven we hier niet te bespreken.

De programmering

Zoals reeds eerder werd gezegd, kan het toestel geheel automatisch vier monsters onderzoeken; bij verhoudingsmetingen is één hiervan het standaardpreparaat. Dit onderzoek kan maximaal per monster op 15 elementen betrekking hebben. De 15 elementen (waarvoor 15 van de bij fig. 3 besproken remarmen in de juiste Θ-standen moeten worden gebracht) worden bij normale toepassingen van het apparaat voor lange tijd vast gekozen. Bij de analyse van een koperlegering kan men zich b.v. interesseren voor de gehaltes aan aluminium, silicium, fosfor, mangaan, ijzer, nikkel, zink, arseen, tin en lood.

De programmering van het automatische onderzoek gebeurt nu als volgt. Voor elk van de 15 elementen is op het bedieningspaneel rechts boven in fig. 1 een rij van 8 knoppen aanwezig, waarmee men het volgende kan kiezen: de collimator, het kristal en de orde van reflexie, de teller, de tijd (bij absolute metingen), het aantal impulsen (bij verhoudingsmetingen), de stroom en de hoogspanning van de röntgenbuis. Met de laatste knop kan men aangeven of het desbetreffende element moet worden gemeten of overgeslagen. Heeft men voor een bepaald monster dit programma ingesteld, dan behoeft men alleen maar het monster in te brengen en op de startknop te drukken. Het evacueren en de afwerking van het meetprogramma geschieden dan geheel automatisch. De resultaten van de metingen verschijnen uitgetypt op een strook papier.

Heeft men regelmatig monsters te onderzoeken van verschillende soorten waarop de installatie normaal niet is ingesteld, maar waarin geen andere elementen behoeven te worden gemeten dan de 24 waarop de remarmen zijn ingesteld, dan kan men voor elk soort een programma vastleggen op een verwisselbaar bord met contactbussen en bijbehorende snoeren. Het instellen van een vrij groot aantal knoppen is dan overbodig.

Samenvatting. Na een beknopte uiteenzetting van de principes waarop de werking van een röntgenspectrometer berust, wordt een installatie beschreven waarmee automatisch een aantal materiaalmonsters kan worden onderzocht op hun gehalte aan 15 verschillende elementen. Het aantal monsters per meetcyclus bedraagt vier (bij absolute metingen) of drie (bij verhoudingsmetingen). Voor het uitvoeren van de metingen zijn zeven verschillende analysekristallen beschikbaar, terwijl twee collimators en twee tellers, nl. een doorstroomteller (flow counter) en een scintillatieteller, aanwezig zijn. De keuze uit deze onderdelen wordt in een automatisch af te werken programma opgenomen. Besproken worden de verschillende motieven die bij deze keuze een rol spelen. Behalve de vereiste nauwkeurigheid en het scheidend vermogen zijn o.a. de nodige meettijd en de invloed van temperatuurveranderingen factoren waarmee men rekening moet houden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Recente wetenschappelijke publikaties

Deze publikaties zijn afkomstig van medewerkers van laboratoria en fabrieken, behorende tot of samenwerkende met ondernemingen van het Philipsconcern, in het bijzonder van medewerkers van de navolgende research-laboratoria:

Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven	*E*
Mullard Research Laboratories, Redhill (Surrey), Engeland	*M*
Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée, Limeil-Brévannes (S.O.), Frankrijk	*L*
Philips Zentrallaboratorium GmbH, Laboratorium Aken, Weisshausstrasse, 51 Aachen, Duitsland	*A*
Philips Zentrallaboratorium GmbH, Laboratorium Hamburg, Vogt-Kölln-Strasse 30, 2 Hamburg-Stellingen, Duitsland	*H*
MBLE Laboratoire de Recherche, 2 avenue Van Becelaere, Brussel 17 (Boitsfort), België.	*B*

Van de meeste dezer publikaties zullen binnenkort overdrukken beschikbaar zijn. Men kan deze aanvragen bij het betrokken laboratorium (zie de codeletter) of bij de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

W. Albers en **C. J. M. Rooymans:** High pressure polymorphism of spinel compounds.
Solid State Comm. **3**, 417-419, 1965 (no. 12). *E*

G. Blasse: Ferromagnetic interactions in non-metallic perovskites.
J. Phys. Chem. Solids **26**, 1969-1971, 1965 (no. 12). *E*

G. Blasse: New compositions with K_2NiF_4 structure.
J. inorg. nucl. Chem. **27**, 2683-2684, 1965 (no. 12). *E*

A. J. Bosman, H. J. van Daal en **G. F. Knuvers:** Hall effect between 300 °K and 1100 °K in NiO.
Physics Letters **19**, 372-373, 1965 (no. 5). *E*

G.-A. Boutry, H. Dormont, R. Evrard en **R. Perrin:** Contribution à l'étude des propriétés photoélectriques du potassium pur, préparé et conservé dans l'ultravide.
C. R. Acad. Sci. Paris **261**, 383-386, 1965 (no. 2). *L*

J. C. Brice: The angular dispersion of anisotropy in thin ferromagnetic films.
Brit. J. appl. Phys. **16**, 965-968, 1965 (no. 7). *M*

J. C. Brice en **U. Pick:** The resistivity of evaporated permalloy films.
Vacuum **15**, 409-412, 1965 (no. 8). *M*

A. Bril en **W. L. Wanmaker:** Energy transfer in $CaNaBO_3$ activated with Tb and Gd.
J. chem. Phys. **43**, 2559-2560, 1965 (no. 7). *E*

J. J. Brissot en **R. Martres:** Surface tension of gadolinium and floating-zone single crystals.
J. appl. Phys. **36**, 3360, 1965 (no. 10). *L*

K. H. J. Buschow: Phase relations and intermetallic compounds in the systems neodymium-aluminium and gadolinium-aluminium.
J. less-common Met. **9**, 452-456, 1965 (no. 6). *E*

J. R. Chamberlain: The use of „fast" transitions in quantum counter applications.
Physics Letters **16**, 261-262, 1965 (no. 3). *M*

L. J. Collins en **J. Smith:** Mirror mounts for experimental optical masers.
J. sci. Instr. **42**, 499-500, 1965 (no. 7). *M*

P. Cornelius, W. de Groot en **R. Vermeulen:** Quantity equations, rationalization and change of number of fundamental quantities, II, III.
Appl. sci. Res. **B 12**, 235-247, 248-265, 1965 (no. 4). *E*

C. Z. van Doorn: Abnormal green „edge" emission in CdS due to an oxygen impurity.
Solid State Comm. **3**, 355-356, 1965 (no. 11). *E*

W. F. Druyvesteyn en **F. A. Staas:** A new kind of transverse voltage in a type II superconductor.
Physics Letters **19**, 262-263, 1965 (no. 4). *E*

G. Engelsma: Photo-induced hydroxylation of cinnamic acid in gherkin hypocotyls.
Nature **208**, 1117-1119, 1965 (no. 5015). *E*

P. J. Flanders en **S. Shtrikman:** Magnetic field induced antiferromagnetic to weakferromagnetic transitions in hematite.
Solid State Comm. **3**, 285-288, 1965 (no. 9). *M*

L. Fraiture: Scattering of electromagnetic waves from rough surfaces.
Ann. Soc. Scient. Bruxelles **I 79**, 144-162, 1965 (no. 2). *B*

R. W. Gibson: Solid ultrasonic delay lines.
Ultrasonics **3**, 49-61, 1965 (april/juni). *M*

C. A. A. J. Greebe: The influence of trapping on the acousto-electric effect in CdS.
Philips Res. Repts. **21**, 1-15, 1966 (no. 1). *E*

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

C. Haas: Phase transitions in ferroelectric and antiferroelectric crystals.
Phys. Rev. **140**, A 863 - A 868, 1965 (no. 3A). *E*

E. E. Havinga: Ferroelectric perovskites containing manganese ions.
Philips Res. Repts. **21**, 49-62, 1966 (no. 1). *E*

E. E. Havinga en **A. J. Bosman:** Temperature dependence of dielectric constants of crystals with NaCl and CsCl structure.
Phys. Rev. **140**, A 292 - A 303, 1965 (no. 1A). *E*

J. C. M. Henning, H. van den Boom en **J. Dieleman:** Electron-spin resonance of Co^{2+} in cubic ZnSe.
Philips Res. Repts. **21**, 16-26, 1966 (no. 1). *E*

H. Kunze: On the mobility of electrons in bismuth doped with tellurium.
Physics Letters **20**, 469-470, 1966 (no. 5). *A*

W. Kwestroo en **C. Langereis:** Basic lead acetates.
J. inorg. nucl. Chem. **27**, 2533-2536, 1965 (no. 12). *E*

J. Lemmrich: Frequenzanaloge Motorsteuerung mit kontaktlosen Bauelementen.
Elektr. Ausrüstung, 1965, no. 2, blz. 58-61. *H*

F. K. Lotgering: On the antiferromagnetism of $ZnCr_2Se_4$.
Solid State Comm. **3**, 347-349, 1965 (no. 11). *E*

F. K. Lotgering: The influence of Fe^{3+} ions at tetrahedral sites on the magnetic properties of $ZnFe_2O_4$.
J. Phys. Chem. Solids **27**, 139-145, 1966 (no. 1). *E*

K. Minnaert: Measurement of the equilibrium constant of the reaction between cytochrome *c* and cytochrome *a*.
Biochim. biophys. Acta **110**, 42-56, 1965 (no. 1). *E*

B. J. Mulder en **J. de Jonge:** Photoconductivity of crystals of anthracene doped with tetracene and acridine.
Rec. Trav. chim. Pays-Bas **84**, 1503-1510, 1965 (no. 11). *E*

E. Neckenbürger: Ein Magnetometer mit oszillierender Probe.
Z. angew. Phys. **18**, 440-441, 1965 (no. 5/6). *H*

J. Neirynck en **Ph. van Bastelaer:** Catalogue of step-responses of narrow-band FM systems.
Rev. MBLE **8**, 98-109, 1965 (no. 2). *B*

W. P. Osmond: The magnetic structure of spinels containing paramagnetic octahedral cations but diamagnetic tetrahedral cations.
Proc. Phys. Soc. **85**, 1191-1196, 1965 (no. 6). *M*

D. Polder en **W. van Haeringen:** The effect of saturation on the ellipticity of modes in gas lasers.
Physics Letters **19**, 380-381, 1965 (no. 5). *E*

H. Rau: Thermodynamische Messungen an SnS.
Berichte Bunsenges. phys. Chemie **69**, 731-736, 1965 (no. 8). *A*

H. Rau: High temperature equilibrium of atomic disorder in SnS.
J. Phys. Chem. Solids **27**, 761-769, 1966 (no. 4). *A*

F. E. Roberts: High temperature Hall measurements on GaAs.
Physics Letters **17**, 21-22, 1965 (no. 1). *M*

C. J. M. Rooymans: High pressure phase transition of europium telluride.
Solid State Comm. **3**, 421-424, 1965 (no. 12). *E*

H. Severin: Ferrites — chemical composition, crystal structure and method of preparation.
Electronic Components **6**, 312-319, 1965 (no. 4). *H*

G. Simon: Methoden zur Bestimmung der Gestalt der Fermi-Oberfläche in Metallen.
Z. angew. Phys. **20**, 161-172, 1965 (no. 2). *A*

I. Sunagawa en **P. J. Flanders:** Structural and magnetic studies in hematite single crystals.
Phil. Mag. **11**, 747-761, 1965 (no. 112). *M*

D. R. Tilley: Critical fields and flux penetration pattern in anisotropic type II superconductors.
Proc. Phys. Soc. **85**, 1177-1184, 1965 (no. 6). *M*

D. R. Tilley: The temperature dependence of the nucleation fields in dirty anisotropic superconductors.
Proc. Phys. Soc. **86**, 678-679, 1965 (no. 3). *M*

W. Tolksdorf: Über die Bildung von $Mg_2Ba_2Fe_{12}O_{22}$ und $Ni_2Ba_2Fe_{12}O_{22}$.
Reactivity of solids, 5th Int. Symp., München 1964, blz. 606-613, Elsevier, Amsterdam 1965. *H*

W. L. Wanmaker, A. Bril en **J. W. ter Vrugt:** Fluorescent properties of terbium-activated alkaline earth alkali borates.
J. Electrochem. Soc. **112**, 1147-1150, 1965 (no. 11). *E*

J. van de Waterbeemd: Kinetics of growth and structure of thin films of tin on an amorphous carbon substrate.
Philips Res. Repts. **21**, 27-48, 1966 (no. 1). *E*

H. W. Werner: Mass and energy dependence of the sensitivity of photographic plates as ion detectors in mass spectrometers.
Philips Res. Repts. **21**, 63-70, 1966 (no. 1). *E*

P. C. van der Willigen: Over staal en het booglassen ervan.
Lastechniek **31**, 205-211, 1965 (no. 11 L). *E*

G. Winkler: Die Bildung und Umwandlung hexagonaler und trigonaler magnetischer Phasen im Dreistoffsystem $BaO\text{-}MeO\text{-}Fe_2O_3$.
Reactivity of solids, 5th Int. Symp., München 1964, blz. 572-582, Elsevier, Amsterdam 1965. *H*

Jaargang 27, 1965/66, no. 11 blz. 285-316 Verschenen 6 oktober 1966

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!